L'India, il Pakistan e la Bomba

Il Subcontinente indiano è l'area del mondo dove è più probabile un conflitto nucleare

di M. V. Ramana e A. H. Nayyar

PER LE STRADE DI KARACHI sfila un missile-giocattolo allestito da Pasban, l'ala giovanile di Jamaat-e-Islami, il più forte partito fondamentalista pakistano. La sfilata si è svolta nel febbraio 1999, nell'ambito della giornata di solidarietà con i musulmani kashmiri nella regione amministrata dall'India. L'entusiasmo per le armi nucleari è diffuso, se non proprio plebiscitario, tanto in India quanto in Pakistan.

Non appena gli Stati Uniti hanno mobilitato le forze armate in risposta agli attentati terroristici dell'11 settembre, l'attenzione del mondo si è concentrata sul Pakistan, area cruciale per le operazioni militari in Afghanistan. E quando il presidente Pervez Musharraf ha garantito il suo sostegno agli Stati Uniti e alla forza multinazionale il pensiero di molti deve essere corso nella stessa direzione: che ne sarà degli armamenti nucleari pakistani? Potrebbero cadere nelle mani degli estremisti? In un messaggio alla nazione, Musharraf ha proclamato che la sicurezza delle armi nucleari era tra le priorità assolute. E l'Amministrazione Bush ha cominciato a considerare l'ipotesi di fornire al Pakistan una forza di sicurezza e altre forme di assistenza per custodire le sue strutture nucleari.

La rinnovata preoccupazione per la presenza di armi atomiche nel Subcontinente indiano arriva a breve distanza dagli eventi del maggio 1998: i cinque test nucleari condotti dall'India nel poligono di Pokharan, nel deserto del Rajasthan, seguiti tre settimane più tardi dai sei test condotti dal Pakistan nella regione sud-occidentale del Chaghay. Questi scambi di «cortesie» si specchiavano, in qualche modo, nei vecchi botta e risposta tra Stati Uniti e Unione Sovietica al tempo della guerra fredda, con una differenza fondamentale: le superpotenze di allora erano separate da un oceano e non avevano mai combattuto un vero conflitto su fronti opposti. Gli scomodi vicini India e Pakistan, invece, si sono scontrati in guerra per tre volte da quando Lord Mountbatten, nel 1947, diede l'indipendenza ai due Stati, uno a maggioranza musulmana e l'altro a maggioranza hindu, con la separazione della colonia britannica in India. Ancora oggi nella regione del Kashmir, su cui entrambi i paesi accampano diritti, si verificano continui scontri di artiglieria lungo la linea di confine, che ufficialmente è una linea di cessate il fuoco.

Nel maggio 1999, un anno dopo i test, scoppiò una violenta schermaglia in merito all'occupazione di un picco montuoso presso la città di Kargil. Il conflitto, durato un paio di mesi, costò la vita a 1300 persone secondo fonti indiane e 1750 secondo fonti pakistane. Per la prima volta dal 1971 l'India schierò la sua aviazione per lanciare gli attacchi. In risposta, i caccia pakistani furono tenuti a terra, per paura che potessero essere abbattuti. A Islamabad, capitale del Pakistan, suonarono ripetutamente le sirene che avvisavano dei raid aerei. Alti ufficiali di entrambi gli eserciti scatenarono almeno una dozzina di allarmi nucleari. In un momento, la pace e la stabilità che alcuni storici e politici della scienza avevano attribuito alla minaccia atomica – sulla base dalla considerazione che le nazioni nucleari dovrebbero temere il reciproco annientamento – erano svanite.

Alla fine, India e Pakistan giunsero a più miti consigli. La fine dello scontro di Kargil, tuttavia, non segnava la fine del confronto nucleare nel Subcontinente indiano. I piani di dispiegamento degli armamenti atomici da parte dei due paesi, in realtà, contribuiscono ad aumentare i rischi. E ora che l'instabilità politica del Pakistan assume i contorni di una prospettiva realistica, il pericolo di un confronto con armi non convenzionali non è mai stato così vicino.

I TEST NUCLEARI SOTTERRANEI condotti dall'India l'11 maggio 1998 hanno provocato il collasso della superficie sopra il sito delle esplosioni. I dati sismologici (*nel riquadro*) fanno supporre che la potenza esplosiva totale sia valutabile tra 16 e 30 chilotoni, circa la metà di quanto dichiarato dalle fonti indiane.

AP Photo; Terry C. Wallace, Università dell'Arizona (*riquadro*)

Imparare ad amare la bomba

India e Pakistan hanno cominciato a sviluppare i loro programmi nucleari quasi subito dopo l'indipendenza dalla Corona britannica. Comprendere l'evoluzione di queste vicende è necessario, se si vuole capire che cosa fare ora per prevenire un'ulteriore proliferazione di armi nucleari. Sebbene alla fine l'equilibrio tra India e Pakistan abbia precisi connotati locali, entrambi i paesi devono molto ad altri Stati nucleari. I materiali utilizzati nei loro ordigni sono stati prodotti con tecnologia occidentale e le giustificazioni di entrambi per l'ingresso nel club nucleare attingono a piene mani dalla filosofia della guerra fredda. La fiducia che Stati Uniti e Russia continuano a riporre in migliaia di testate nucleari in costante stato di allerta, poi, non fa che aumentare, in India e in Pakistan, la percezione di aver bisogno di un arsenale nucleare.

Nel 1948, quando istituiva la Indian Atomic Energy Commission (IAEC), il pandit Jawaharlal Nehru sottolineò l'auspicio che il paese «producesse [energia atomica] per scopi pacifici». Ma allo stesso tempo riconosceva: «se saremo costretti, come nazione, a farne uso per altri scopi, non vi saranno pii sentimenti che ci impediranno di farlo». E questa ambivalenza è rimasta una caratteristica della politica nucleare indiana fino a oggi.

Agli occhi dei governanti indiani, il programma rappresentava, e rappresenta, una questione di prestigio internazionale e di modernità tecnologica. Nei vent'anni che seguirono l'indipendenza, perciò, l'India cominciò a costruire e a far funzionare reattori nucleari, a estrarre uranio dalle miniere, a fabbricare combustibile nucleare e a produrre plutonio. In termini di potenza elettrica prodotta, queste attività si sono spesso dimostrate fallimentari: duro bilancio, verrebbe da pensare, proprio in un campo in cui un paese in via di sviluppo dovrebbe impegnare le proprie risorse. Politici e scienziati giustificavano il programma nucleare con la scusa che avrebbe permesso l'autosufficienza energetica; un tema piuttosto popolare, nell'India post-coloniale. Retorica a parte, invece, l'India sollecitava, e riceveva, ampio aiuto da parte del Canada, degli Stati Uniti e di altri paesi.

Dopo la sconfitta del 1962 nella guerra di confine con la Cina, alcuni politici della destra indiana approfittarono per sollecitare lo sviluppo di un arsenale nucleare. E i loro appelli si fecero ancora più accorati nel 1964, dopo il primo test nucleare cinese. A contrastare la lobby della bomba erano altre figure politiche di spicco, che ribattevano sottolineando gli eccessivi costi di un simile programma. Molti autorevoli scienziati, invece, si espressero a favore della bomba. Homi Bhabha, il fisico teorico che guidava l'IAEC, dichiarò che il suo istituto avrebbe potuto «confezionare» un ordigno nucleare «in 18 mesi». Citando un rapporto del Lawrence Livermore National Laboratory, Bhabha stimò che la bomba non sarebbe stata poi così costosa. E promise anche un guadagno in termini economici dalle «esplosioni nucleari pacifiche», che molti ricercatori nucleari americani avrebbero esaltato come mezzo per opere civili, per esempio lo scavo di canali.

PADRI DELL'ATOMICA: A. Q. Khan (*a sinistra*) è il fondatore dell'impianto di Kahuta, che produce l'uranio per le bombe pakistane. Homi Jehangir Bhabha (*a destra*), che studiò fisica teorica all'Università di Cambridge, pose le basi della capacità nucleare indiana.

B. K. Bangash/AP Photo (*Khan*); cortesia Bhabha Atomic Research Center (*Bhabha*)

Nel novembre 1964 il primo ministro indiano Lal Bahadur Shastri arrivò al compromesso, permettendo alla commissione di esplorare le tecnologie necessarie per costruire una bomba. Ne scaturì che Bhabha aveva già fatto indagini per conto suo. Nel 1960 aveva inviato in Francia Vasudev Iya, un giovane chimico, perché raccogliesse informazioni su come si prepara il polonio, un elemento chimico usato per innescare le reazioni nucleari. Bhabha morì nel 1966, e la progettazione del «dispositivo pacifico» non iniziò per un altro paio d'anni. Ma alla fine degli anni sessanta almeno 50 scienziati erano impegnati nel programma indiano di armamenti nucleari. Il loro lavoro culminò l'11 maggio 1974 con il primo test atomico indiano, l'esplosione di un'arma al plutonio con una potenza compresa tra 5 e 12 chilotoni (tonnellate di tritolo equivalente). A titolo di paragone, la bomba sganciata su Hiroshima aveva una potenza di circa 13 chilotoni.

L'India balistica

Il test del 1974 fu accolto con entusiasmo dall'India e con sgomento nel resto del mondo. I paesi occidentali interruppero gli sforzi cooperativi in materia nucleare e si consociarono nel Nuclear Suppliers Group, che limitava l'esportazione di tecnologie e materiali idonei alla costruzione di ordigni nucleari alle nazioni che avevano rifiutato di ratificare il Trattato di non proliferazione nucleare del 1968, inclusi India e Pakistan.

Negli anni seguenti, la lobby della bomba fece pressioni perché si sperimentassero armi più potenti, tra le quali anche bombe a idrogeno. Pare che tra la fine del 1982 e l'inizio del 1983 il premier Indira Gandhi abbia autorizzato un altro test, per cambiare idea nel giro di 24 ore. Causa del dietrofront fu probabilmente una conversazione con il Ministro della difesa, che poco tempo prima si era trovato in un imbarazzante faccia a faccia con un funzionario statunitense che gli mostrava immagini da satellite con i preparativi in corso sul sito del test. La conversazione sembrò convincere la signora Gandhi delle difficoltà economiche che gli Stati Uniti avrebbero potuto creare all'India nel caso avesse proceduto nelle sue intenzioni. In luogo del test la Gandhi volle che «fossero sviluppate "altre cose" e che fossero tenute pronte».

La «altre cose» che aveva in mente erano missili balistici. Nel 1983 fu avviato l'Integrated Guided Missile Development Program, sotto la guida dell'ingegnere missilistico Abdul Kalam. La decisione faceva seguito al maldestro tentativo di convertire un missile da contraerea che l'India aveva acquistato dall'Unione Sovietica negli anni sessanta. Sebbene non fosse andato a buon fine, lo sforzo aveva però consentito di sviluppare tecnologie importanti, tra le quali, in particolare, un motore per razzi. Kalam adottò uno stile di *management* aperto, in confronto con l'usuale segretezza dei progetti militari, e coinvolse università e società private. Anticipando le restrizioni sulle importazioni, l'India cominciò ad acquistare giroscopi, accelerometri e simulatori di moto da produttori francesi, svedesi, statunitensi e tedeschi.

Nel 1988 l'India effettuò i primi test di missili terra-terra e un anno più tardi sperimentò missili a medio raggio. Nell'aprile 1999 fu la volta di missili a lungo raggio, che possono percorrere fino a 2000 chilometri. In termini geopolitici, per intenderci, arriverebbero dritto nel cuore della Cina. Nonostante l'indubbia capacità tecnologica, tuttavia, è improbabile che l'India possa mettersi al pari della Cina come potenza nucleare. Secondo le stime, la Cina disporrebbe di 400 testate belliche più un numero impreciso (valutato tra 200 e 600 unità) di armi contenenti materiale fissile. Se i reattori indiani per la produzione di plutonio fossero operativi al 50-80 per cento della loro potenza massima, l'India potrebbe disporre di non più di 55-110 armi contenenti plutonio (*si veda la finestra a pagina 41*). Ma l'arsenale sarebbe più fornito se i reattori commerciali costruiti per la produzione di energia elettrica avessero contribuito alla costruzione di armamenti.

IN PILLOLE

- L'attacco terroristico dell'11 settembre contro gli Stati Uniti e la successiva guerra in Afghanistan hanno riportato alla ribalta il problema della sicurezza degli armamenti nucleari in Pakistan e, di conseguenza in India.
- Anche prima dell'11 settembre la tensione nella regione del Kashmir, i test nucleari della primavera 1998 e il continuo incremento dei fondi destinati ai programmi nucleari facevano del Subcontinente il più probabile teatro di una guerra atomica.
- Gli arsenali dei due paesi sono ormai giunti a una consistenza preoccupante, tanto più considerando la disinvoltura con cui i Governi, soprattutto quello pakistano, hanno gestito dubbi contatti e procedure illecite per acquisire progetti e materiali.
- La realtà indo-pakistana dimostra l'inefficacia della politica di non proliferazione messa in atto dall'Occidente. Una revisione di questa politica deve favorire la dissuasione della domanda di armi nucleari, prima ancora delle sanzioni sull'offerta.

Mangiare erba

Il programma nucleare pakistano è stato formulato nel generale desiderio di tener testa all'India qualsiasi cosa essa faccia. Il Pakistan ha istituito l'Atomic Energy Commission nel 1954, ha avviato le prime ricerche sui reattori nel 1965 e ha messo in funzione il primo reattore commerciale nel 1970. Fu Abdus Salam - fondatore dell'International Center for Theoretical Physics di Trieste e premio Nobel per la fisica nel 1979 – a svolgere un ruolo di primo piano in questa impresa, nella veste di consigliere scientifico del Governo di Islamabad.

Il programma, in realtà, fu seriamente rallentato dalla carenza di risorse umane in grado di padroneggiare la tecnologia. Nel 1958 la Commissione - sotto la guida di Nazir Ahmad, che in precedenza era a capo del Comitato tessile - disponeva soltanto di 31 tra fisici e ingegneri. Si decise così di inviare 600 giovani scienziati a seguire corsi di formazione nelle Università europee e nordamericane. Grazie al generoso contributo di questi paesi, alcuni dei quali avevano aiutato anche l'India, verso la metà degli anni sessanta il Pakistan riuscì ad allestire qualche laboratorio di ricerca nucleare.

Dopo la guerra con l'India del 1965, molti politici, opinionisti e scienziati pakistani si mostrarono favorevoli allo sviluppo di armi nucleari. Il più in vista di questi personaggi era il Ministro degli esteri Zulfikhar Ali Bhutto: in un famoso discorso, Bhutto aveva dichiarato che se l'India avrebbe prodotto la bomba atomica il Pakistan l'avrebbe seguita «anche a costo di dover mangiare erba, o di trovarsi alla fame». Dopo la sconfitta del Pakistan del dicembre 1971, Bhutto fu eletto Primo ministro. E nel gennaio 1972 convocò subito una riunione con un gruppo di scienziati per discutere la questione della bomba.

Come prima via del loro duplice sforzo per ottenere materiale fissile, i pakistani tentarono di acquistare plutonio da impianti di riprocessamento francesi e belgi. Ma, dopo aver inizialmente acconsentito alla vendita, la Francia fece marcia indietro, per le pressioni statunitensi. Un manipolo di scienziati pakistani fu invece accolto in Belgio, per un periodo di apprendistato sulla tecnologia per il riprocessamento. Di ritorno in patria, all'inizio degli anni ottanta costruirono un laboratorio di riprocessamento su piccola scala. Con il combustibile esausto ricavato da un reattore messo in funzione nel 1998, il laboratorio è in grado di produrre due bombe al plutonio all'anno.

Come seconda strada, i ricercatori pakistani esplorarono le tecniche per l'arricchimento dell'uranio, necessarie per costruire una bomba a base di uranio 235. Nel 1975 si unì al gruppo di pionieri A. Q. Khan, un ingegnere metallurgico che aveva lavorato in un impianto di arricchimento olandese. E con lui arrivarono informazioni riguardanti progetti coperti da segreto militare e una lista di fornitori occidentali di componenti, molti dei quali erano ben disposti a violare le leggi sull'esportazione (*si veda la finestra alle pagine 46-47*). L'operazione fu coronata da successo nel 1979, con l'arricchimento di piccole quantità di uranio. Da allora, si stima che il Pakistan sia riuscito a produrre da 20 a 40 bombe contenenti uranio arricchito, e che di anno in anno il suo arsenale si ingrossi con 4-6 ordigni di questo tipo.

Secondo le fonti informative ufficiali, nel 1984 erano pronti progetti per bombe nucleari aerotrasportate. A quell'epoca, alcuni funzionari statunitensi cominciarono ad accusare la Cina di aver fornito al Pakistan i progetti per una bomba nucleare. In effetti Cina e Pakistan avevano scambiato tecnologie ed equipaggiamenti in diversi campi, compreso quello relativo agli armamenti nucleari e alla missilistica. Si ritiene, per esempio, che il Pakistan abbia importato missili a corto raggio dalla Cina. Ma l'accusa che la Cina abbia fornito al Pakistan progetti per ordigni atomici non è mai stata provata. E, comprensibilmente, gli scienziati pakistani hanno sempre negato ogni addebito.

Gli scontri della primavera 1990 in Kashmir minacciarono di scatenare un'altra guerra. Un articolo di Seymour M. Hersh pubblicato nel 1993 sul «New Yorker» sostiene che i satelliti statunitensi individuarono un convoglio di camion che si muoveva da Kahuta, l'impianto pakistano per l'arricchimento dell'uranio, verso una base aerea dove erano pronti al decollo bombardieri F-16. Hersh scrisse in proposito che la diplomazia americana aveva informato dei movimenti l'India, che richiamò le truppe che aveva ammassato ai confini. Ma tra gli studiosi che hanno analizzato questi affermazioni è più accreditata l'idea che il Pakistan non abbia mai pensato all'uso di armi nucleari. Gli esperti sono anche scettici sul fatto che i satelliti spia abbiano realmente rilevato i movimenti descritti da Hersh. Ciò nondimeno, la lobby pakistana della bomba ha approfittato di queste accuse per riaffermare che le armi nucleari servono al paese per difendersi da un'eventuale aggressione indiana. I diplomatici indiani, invece, non hanno mai concordato con la tesi di Hersh. Sarebbe come ammettere che la forza nucleare pakistana abbia neutralizzato la supremazia indiana in fatto di armi convenzionali.

Cortesia Space Imaging

IL REATTORE NUCLEARE DI KHUSHAB, in Pakistan, produce ogni anno un certo numero di bombe contenenti plutonio. Le dimensioni delle torri di raffreddamento visibili nell'immagine scattata dal satellite commerciale Ikonos suggeriscono che il reattore generi circa 50 megawatt termici.

GLI AUTORI

M. V. RAMANA e A. H. NAYYAR sono fisici e attivisti di pace impegnati a costruire un dialogo tra India e Pakistan. Ramana, che lavora al Program on Science and Global Security alla Princeton University (www.princeton. edu/ffglobsec), è uno dei fondatori dell'Indian Coalition for Nuclear Disarmament and Peace. Nato e cresciuto nell'India meridionale, ha scritto saggi sulla musica tradizionale di quella regione. Nayyar, professore di fisica alla Quaid-e-Azam University di Islamabad, è cofondatore della Pakistan Peace Coalition. Dirige inoltre un progetto per offrire opportunità educative ai figli di famiglie disagiate.

PRODURRE MATERIALE PER ARMI NUCLEARI

La parte più difficile della costruzione di ordigni atomici è la preparazione del combustibile, sia che si privilegi il plutonio sia che si scelga l'uranio altamente arricchito. Il punto di partenza è l'uranio naturale, una miscela isotopica costituita per il 99,3 per cento da uranio 238 e per il restante 0,7 per cento da uranio 235. Solo quest'ultimo, però, è in grado di alimentare una reazione a catena. Per costruire una bomba all'uranio, occorre aumentare il contenuto in uranio 235 almeno fino all'80 per cento. La maggior parte dei moderni impianti di arricchimento, compresi quelli pakistani e indiani, fa uso di centrifughe ad alta velocità.

La strada alternativa è quella del plutonio, un elemento di sintesi (ovvero che non esiste in natura). Il plutonio viene prodotto irradiando l'uranio utilizzato come combustibile nei reattori nucleari, e viene successivamente estratto attraverso un processo chimico che prende il nome di riprocessamento. La più diffusa tecnologia di riprocessamento prevede che il combustibile irradiato venga triturato, dissolto in acido e poi esposto a un solvente, il tributile fosfato, miscelato con cherosene. Il solvente separa il plutonio e l'uranio dagli altri prodotti di fissione. Infine, il plutonio viene fatto precipitare per mezzo di una sostanza riducente: un agente chimico che lo converte in una forma insolubile.

1 ESTRAZIONE DELL'URANIO
Il minerale viene estratto, ridotto in piccole particelle e dilavato con acido o con sostanze alcaline per separare l'uranio

2 PROCESSAMENTO
L'uranio viene convertito in una forma chimica adatta o all'arricchimento o alla fabbricazione di combustibile

BOMBA ALL'URANIO

BOMBA AL PLUTONIO

3a ARRICCHIMENTO
L'uranio 235 viene concentrato, convertito in forma metallica e inserito nei nuclei delle bombe

5 RIPROCESSAMENTO
Il plutonio viene estratto mediante un processo chimico, convertito in forma metallica e inserito nei nuclei delle bombe

4 REATTORE
Durante una reazione a catena, una parte dell'uranio assorbe neutroni e si trasforma in plutonio. Dopo di che le barre di combustibile vengono raffreddate in vasche piene d'acqua

3b FABBRICAZIONE DI COMBUSTIBILE
L'uranio naturale o leggermente arricchito è rivestito con materiale metallico a costituire barre di combustibile

INVENTARIO DEL PLUTONIO INDIANO	
Produzione (in reattori):	450-722 chilogrammi
Consumo (in test e reattori):	165 chilogrammi
Giacenza:	285-557 chilogrammi (equivalenti a 55-110 bombe)

INVENTARIO DELL'URANIO ARRICCHITO PAKISTANO	
Produzione (arricchimento):	450-750 chilogrammi
Consumo (durante test):	120 chilogrammi
Giacenza:	330-630 chilogrammi (equivalenti a 20-40 bombe)

Bryan Christie

L'arena nucleare

Da 50 anni India e Pakistan combattono un'interminabile guerra convenzionale in Kashmir e si sono impegnati in una corsa agli armamenti nucleari. Oggi entrambi hanno infrastrutture per la produzione di ordigni atomici. Frattanto, centinaia di milioni di persone, nella regione, continuano a vivere nella miseria.

Strutture nucleari pakistane§

REATTORI

Research/Plutonium Production Reactor, 40-70 MW*
LOCALITÀ: Khushab
APERTURA: 1998
PARTNER STRANIERI: Cina
MODERATORE: acqua pesante (?)
REFRIGERANTE: acqua pesante
PRODUZIONE ANNUA: 6,6-18 kg di plutonio†

RIPROCESSAMENTO

Nuovi laboratori
LOCALITÀ: Rawalpindi
APERTURA: primi anni ottanta
PRODUZIONE ANNUA: 10-20 kg di plutonio

ARRICCHIMENTO

Khan Research Laboratories
LOCALITÀ: Kahuta
APERTURA: 1984
PRODUZIONE ANNUA: 57-93 kg di uranio altamente arricchito

MINIERE DI URANIO

Dera Ghazi Khan
APERTURA: 1974
PRODUZIONE ANNUA: 23-30 tonnellate

I missili indiani a lungo raggio possono raggiungere ogni località pakistana e gran parte della Cina, tranne forse le città della costa. I missili pakistani coprono gran parte dell'India.

Strutture nucleari indiane§

REATTORI

CIRUS, 40 MW*
LOCALITÀ: Mumbai
APERTURA: 1960
PARTNER STRANIERI: Canada
MODERATORE: acqua pesante
REFRIGERANTE: acqua
PRODUZIONE ANNUA: 6,6-10,5 kg di plutonio

Dhruva, 100 MW*
LOCALITÀ: Mumbai
APERTURA: 1985
MODERATORE: acqua pesante
REFRIGERANTE: acqua pesante
PRODUZIONE ANNUA: 16-26 kg di plutonio†

Fast Breeder Test Reactor, 40 MW*
LOCALITÀ: Kalpakkam
APERTURA: 1983
PARTNER STRANIERI: Francia
REFRIGERANTE: sodio liquido
PRODUZIONE ANNUA: 4-6,4 kg di plutonio†

RIPROCESSAMENTO

Trombay
LOCALITÀ: Mumbai
COMMISSIONATO: 1964
CAPACITÀ ANNUA: 30-50 tonnellate di combustibile metallico esausto

PREFRE
LOCALITÀ: Tarapur
COMMISSIONATO: 1977
CAPACITÀ ANNUA: 100 tonnellate di combustibile (ossido) esausto

KARP
LOCALITÀ: Kalpakkam
COMMISSIONATO: 1997
CAPACITÀ ANNUA: 100-125 tonnellate di combustibile (ossido) esausto

ARRICCHIMENTO

Rattehalli ††
LOCALITÀ: Mysore
APERTURA: 1990
PRODUZIONE ANNUA: sconosciuta

MINIERE DI URANIO

Jadugoda
APERTURA: 1968
PRODUZIONE ANNUA: 200 tonnellate

* produzione di potenza termica
† in esercizio al 50 - 90 per cento della capacità
†† produrrebbe combustibile per un sottomarino nucleare
§ strutture legate alla produzione bellica; sono stati omessi i reattori per la produzione commerciale

La corsa accelera

Dalla fine della guerra fredda, l'ulteriore costruzione di impianti nucleari in entrambi i paesi si è verificata in uno scenario diverso. Gli arsenali nucleari delle superpotenze hanno cominciato a contrarsi, e il 1996 ha visto l'approvazione del Comprehensive Test Ban Treaty, il trattato sulla messa al bando dei test atomici. Ma i cinque paesi nucleari - Stati Uniti, Russia, Regno Unito, Cina e Francia - hanno chiarito che non intendono smantellare i loro arsenali. Questa bizzarra giustapposizione di intenti non ha fatto che rafforzare i gruppi di pressione favorevoli alla bomba in India e in Pakistan.

E, ad aggravare la situazione, si sono aggiunti gli sviluppi interni. L'India fu travolta dalla crescita del nazionalismo hindu. Per decenni i partiti animati da questa ideologia, come il Bharatiya Janata Party (NJP), avevano sposato la tesi dell'acquisizione di grandi arsenali di armi convenzionali, ma anche nucleari. Non sorprese, dunque, che il BJP conducesse test nucleari subito dopo essere arrivato al governo, nel marzo 1998. I test indiani offrirono ai sostenitori del programma nucleare pakistano il miglior pretesto per condurre test a loro volta. Anche qui erano soprattutto i partiti religiosi estremisti a vedere di buon occhio la bomba. Nel 1993 Qazi Hussein Ahmad, del Jamaat-e-Islami, uno dei maggiori gruppi islamici del paese, aveva dichiarato: «Intraprendiamo una *Jihad* in Kashmir. Un Pakistan dotato di armamenti nucleari sconsiglierà all'India di allargare il conflitto.» Frattanto, i militari cercavano di sviluppare armi atomiche per contrastare le preponderanti forze armate indiane.

Questi gruppi di pressione furono parzialmente neutralizzati dall'azione diplomatica statunitense e cinese dopo i test indiani. Inoltre, alcuni analisti e attivisti non mancarono di sottolineare i danni delle sanzioni economiche che sarebbero certamente seguite ai test. E suggerirono che il Pakistan lasciasse sola l'India ad affrontare l'ira internazionale. Ciò nonostante, tre settimane dopo l'India, il Pakistan eseguì i suoi test.

A dispetto dei discorsi altisonanti, la piccola entità dei segnali sismici dovuti ai test di entrambi i paesi ha suscitato dubbi sulla potenza esplosiva dichiarata (*si veda l'illustrazione a pagina 38*). I dati comunicati dai militari indiani a sostegno delle loro affermazioni sono lacunosi; tanto per dirne una, il grafico relativo alla quantità dei sottoprodotti radioattivi liberati nelle esplosioni non riporta unità di misura sugli assi. E, inoltre, scienziati indipendenti non sono stati in grado di verificare se effettivamente i due paesi abbiano sviluppato tante armi quante dichiarano.

Trascurando questi dettagli, i test hanno radicalmente mutato la situazione militare del Subcontinente indiano. Hanno stimolato lo sviluppo di armi più sofisticate, di missili, sottomarini e sistemi antimissile. Nell'agosto 1999 l'Indian Draft Nuclear Doctrine suggeriva lo sviluppo di «aerei, mezzi di terra e navi» in grado di lanciare bombe nucleari, un progetto da otto miliardi di dollari. A gennaio il Governo indiano ha dichiarato che schiererà i suoi nuovi missili a lungo raggio. E solo un mese più tardi il vice-comandante della marina pakistana ha annunciato che il Governo stava valutando l'ipotesi di equipaggiare almeno uno dei suoi sottomarini con armi nucleari.

Massa critica

Lo schieramento di nuove armi non fa che aumentare il rischio che queste possano venire impiegate, durante una delle frequenti crisi tra i due paesi, per un incidente o per errori di valutazione. Con tempi di volo dei missili di 3-5 minuti, i sistemi di preallarme sono perfettamente inutili. I capi di Governo verrebbero a sapere del lancio solo dopo aver guardato fuori dalla loro finestra e aver intravisto un accecante lampo di luce. Sarebbero quindi inclini a tenere il dito sempre a tiro della «stanza dei bottoni», o a delegare altri a lanciare armi nucleari al posto loro.

AP Photo

INDOSSANDO LA MASCHERA DELLA MORTE E LA BANDIERA INDIANA, un gruppo di contestatori si raccolse fuori dall'ambasciata pakistana di New Delhi dopo i test nucleari pakistani del 1998. Qualcuno agita biberon ironizzando sull'infantilità della nazione pakistana. Non si sa, invece, se gli stessi contestatori si siano mossi in occasione dei test indiani, poche settimane prima.

In un senso più ampio, si prospettano due scenari. Il primo prevede, diciamo, che l'esercito indiano arrivi alle porte di Lahore o che la marina riesca a bloccare l'accesso al porto di Karachi. In tal caso, il Pakistan potrebbe rispondere con armi nucleari tattiche, come deterrente. L'altro scenario suppone che, nelle medesime circostanze, il Pakistan decida che un lancio di avvertimento non basti, e attacchi direttamente una città indiana con un'arma atomica. Nel 1998 uno di noi (Ramana) eseguì il primo studio scientifico del danno che potrebbe provocare un'arma di modesta potenza - 15 chilotoni - se fosse sganciata su Bombay: nei primi mesi, si conterebbero da 150 000 a 850 000 vittime.

I vertici militari indiani sono pronti ad affrontare una simile eventualità. Nel maggio scorso sono state condotte le più imponenti esercitazioni dell'ultimo decennio, battezzate con il pomposo nome di Operation Complete Victory. Decine di migliaia di soldati, con blindati, aerei ed elicotteri da combattimento, si schierarono in quell'occasione lungo il confine pakistano. Lo scopo dichiarato era di esercitare i militari a operare «in un ambiente contaminato da armi chimiche, biologiche o nucleari», per «dare una lezione al nemico una volta per tutte». In un significativo addestramento, i soldati dovevano «simulare una situazione di guerra in cui si incontrava un aereo nemico con un carico di testate nucleari.» Abdula Kalam, capo del programma missilistico, dichiarò che le armi nucleari indiane «sono testate per operazioni militari... per esercitare le nostre forze armate».

Anche prima dell'11 settembre il Subcontinente indiano aveva tutti gli ingredienti per una guerra nucleare: il possesso e il continuo sviluppo di bombe e missili, l'imminente schieramento di armi nucleari, precauzioni inadeguate a evitarne un uso non autorizzato, la prossimità geografica, il conflitto in atto in Kashmir, movimenti religiosi estremisti a vocazione militare, e leader che sembrano fiduciosi riguardo ai danni di una guerra nucleare.

Le risposte di India e Pakistan agli eventi dell'11 settembre e

I MISSILI INDIANI

AGNI («Fuoco») I
TIPO: primo stadio a combustibile solido; secondo a combustibile liquido
RAGGIO: 1500-2000 km
TESTATA: 1000 kg
STATO DI SVILUPPO: sospeso

AGNI II
TIPO: due stadi; entrambi a combustibile solido
RAGGIO: 2000 km
TESTATA: 1000 kg
STATO DI SVILUPPO: test nell'aprile 1999

PRITHVI («Terra») I
TIPO: singolo stadio, a combustibile liquido; motore basato su missili da difesa aerea russi SA-2
RAGGIO: 150 km
TESTATA: 1000 kg
STATO DI SVILUPPO: schierato

PRITHVI II
TIPO: singolo stadio, a combustibile liquido
RAGGIO: 250 km
TESTATA: 500 kg
STATO DI SVILUPPO: test nel gennaio 1996

PRITHVI III
TIPO: Missile navale a singolo stadio; combustibile liquido
RAGGIO : 350 km (?)
TESTATA : sconosciuta
STATO DI SVILUPPO: In fase di sviluppo

SAGARIKA *(non mostrato)* **(«Nato sull'oceano»)**
TIPO: missile balistico da crociera lanciato da sottomarini
RAGGIO: 300 km (?)
TESTATA: sconosciuta
STATO DI SVILUPPO: in fase di sviluppo

I MISSILI PAKISTANI

HATF («Corazza») I
TIPO: singolo stadio, a combustile solido; basato su razzi francesi
RAGGIO: 60-80 km
TESTATA: 500 kg
STATO DI SVILUPPO: test nel gennaio 1989

HATF II
TIPO: singolo stadio, a combustile solido
RAGGIO: 280-300 km
TESTATA: 500 kg
STATO DI SVILUPPO: test nel gennaio 1989

HATF III
TIPO: singolo stadio, a combustile solido
RAGGIO: fino a 600 km
TESTATA: 250 kg
STATO DI SVILUPPO: test nel luglio 1997

M-11 *(non mostrato)*
TIPO: singolo stadio, a combustile solido
RAGGIO: 290 km
TESTATA: 500 kg
STATO DI SVILUPPO: sospetta importazione dalla Cina; in giacenza?

GHAURI (nome di un re afghano del XII secolo)
TIPO: singolo stadio, a combustile liquido; simile a un missile nord-coreano
RAGGIO: 1500 km
TESTATA: 700 kg
STATO DI SVILUPPO: test nell'aprile 1998; produzione di serie iniziata nel novembre 1998

SHAHEEN («Aquila»)
TIPO: singolo stadio, a combustile solido
RAGGIO: 600-750 km
TESTATA: 1000 kg
STATO DI SVILUPPO: test nell'aprile 1999

SHAHEEN II
TIPO : due stadi, entrambi a combustibile solido
RAGGIO: 2400 km
TESTATA : sconosciuta
STATO DI SVILUPPO: in fase di sviluppo

PRITHVI
INDIA
AE 01
11020
INDIA
SHAHEEN
Per confronto

Bryan Christie

Segreti, segreti: quali segreti?

I Governi pakistani hanno sempre assicurato all'Occidente di avere pieno controllo degli armamenti, dei materiali e della tecnologia nucleare del paese. Ma gli analisti non reputano realistiche queste affermazioni. Tecnici, scienziati e militari del programma nucleare pakistano potrebbero nutrire simpatie per i gruppi islamici radicali o anti-americani. Ancora più preoccupante è il fatto che lo sviluppo storico del programma pakistano ha aumentato il rischio di collaborazioni illegali e di altre violazioni delle norme di sicurezza e dei trattati internazionali.

Fin dall'inizio, il programma si è basato sull'acquisto illecito e sull'inganno deliberato. Ha incoraggiato i contatti con un sottobosco di trafficanti e con società disposte a sfuggire al controllo occidentale sulle esportazioni. Nella cultura di fondo di quel programma, tecnici delusi non sarebbero certo a corto di giustificazioni e opportunità per trasferire informazioni segrete o componenti speciali. Altri potrebbero semplicemente non denunciare il comportamento sospetto dei colleghi. Altri ancora potrebbero sentirsi «proprietari» di parti del programma, e sentirsi in diritto di vendere i loro contributi per profitto personale.

L'India non soffre di questi problemi. Ha avviato il suo programma nucleare prima del Pakistan. E ha acquistato gran parte delle infrastrutture da fornitori esteri prima che l'Occidente capisse che i paesi in via di sviluppo abusavano dell'assistenza nucleare nei progetti civili per costruire armi. Per essere precisi, il Pakistan non è il solo a indulgere in una cultura che si fa beffe della sicurezza. Il programma tedesco per centrifughe a gas, per esempio, era celebre per la sua vulnerabilità. E negli anni ottanta esperti tedeschi assistettero in segreto l'Iraq di Saddam Hussein.

Un cardine del programma pakistano, la produzione di uranio altamente arricchito, è nato da un atto di spionaggio industriale. A metà degli anni settanta A. Q. Khan, il padre di quel piano, lavorava in una società olandese con il compito di tradurre progetti segreti e specifiche per le centrifughe a gas. Ebbe così accesso a informazioni quantomeno delicate. Tornato in patria, Khan fondò gli Engineering Research Laboratories, ora Dr. A. Q. Khan Research Laboratories, per trasferire le sue conoscenze ai piani nucleari pakistani. Secondo un memorandum del 1983 del Dipartimento di Stato americano, il programma di arricchimento camuffò le sue attività fornendo documentazione fuorviante sull'impiego dei componenti importati dai paesi occidentali. In un'intervista del 1999 al quotidiano egiziano «Al-Ahram», Khan disse che il suo laboratorio aveva acquistato componenti da società *offshore* con sede in Giappone, a Singapore e altrove. Con uno sconto stimato tra il 15 e il 25 per cento del prezzo ufficiale...

Khan e colleghi usarono un approccio alla Robin Hood con le informazioni segrete. Nei tardi anni ottanta pubblicarono articoli sulle centrifughe a gas in riviste occidentali, con l'intenzione di dimostrare l'autosufficienza del Pakistan in quel campo e quindi far capire che il paese poteva costruire bombe nucleari. Simili articoli aiutarono altri paesi, come il Sudafrica, nei loro piani nucleari. Uno di quegli articoli è il solo studio pubblicamente disponibile sui soffietti in acciaio maraging, una lega super-resistente. Per anni l'Urenco - un consorzio britannico, tedesco e olandese per l'arricchimento - ha considerato la sola menzione di questi soffietti una violazione alle norme di sicurezza.

Quanto in là si sono spinti gli scienziati pakistani nel diffondere informazioni sulla bomba? Le ispezioni dell'ONU in Iraq si sono imbattute in un documento *top secret* dell'*intelligence* irachena di una sola pagina che conteneva un'offerta di assistenza per la produzione di armi nucleari da parte del Pakistan. Un mediatore avrebbe avvicinato i servizi iracheni nell'ottobre 1990 - due mesi dopo l'invasione del Kuwait e tre mesi prima della reazione americana - con la seguente proposta: Khan darebbe all'Iraq i progetti per la bomba, aiuterebbe a procurare i materiali attraverso una società con sede a Dubai e fornirebbe altri servizi. In cambio l'Iraq avrebbe pagato un prezzo considerevole.

Gli ispettori non riuscirono a scovare il mediatore, e il Pakistan e Khan negarono qualsiasi coinvolgimento. Ciò nondimeno, gli iracheni presero sul serio l'offerta e - a quanto pare - la rifiutarono. Khidhir Hamza, un esperto di armamenti che lasciò l'Iraq nel 1994, sostiene di aver saputo di quell'offerta, e ritiene che l'Iraq non l'abbia accettata perché temeva che Khan sarebbe venuto a conoscenza di troppi dettagli sui piani nucleari di Baghdad. E Khan si era già guadagnato una cattiva fama presso gli iracheni, per aver usato un contratto per un impianto petrolchimico come copertura per ottenere acciaio maraging.

A marzo, il Governo pakistano ha rimosso Khan dal suo incarico, per offrirgli il posto di Consigliere per la scienza e la tecnologia. La mossa è vista da molti come un tentativo di tenerlo a freno. Quest'estate, tuttavia, è emerso che il suo laboratorio avrebbe mantenuto legami con il programma nordcoreano per missili balistici, risollevando i timori di una cooperazione nucleare. Ma i pakistani hanno negato qualsiasi connessione.

Non c'è prova di legami tra elementi del Governo pakistano e gruppi terroristici, ma i pakistani hanno tenuto contatti con i Taleban. Ed è dunque immaginabile che i terroristi possano aver sfruttato questi contatti per avere accesso a componenti per ordigni nucleari. La cultura di fondo di quel programma aumenta il rischio che possano esserci riusciti.

David Albright, fisico e presidente dell'Institute for Science and International Security di Washington, è stato anche ispettore delle Nazioni Unite in fatto di armamenti.

PROGETTI PER CENTRIFUGHE A GAS come queste, del gruppo industriale Urenco-Centec, furono segretamente acquisiti dal programma pakistano di armamenti nucleari.

Cortesia Urenco Nederland

all'attacco degli Stati Uniti all'Afghanistan riflettono la competizione strategica che ha condizionato molta della loro storia. L'India ha subito offerto basi e supporto logistico all'esercito americano, nel tentativo di isolare il Pakistan. Tentando di legare i loro problemi in Kashmir alla preoccupazione internazionale per il terrorismo, i governanti indiani hanno anche minacciato di lanciare un attacco alle linee di difesa pakistane, accusandole di essere basi di addestramento per i terroristi islamici kashmiri. Il Pakistan, per parte sua, comprendendo sia il vantaggio geopolitico in cui si trovava sia i pericoli di instabilità interna, dopo aver soppesato pro e contro ha deciso di offrire il suo sostegno alla guerra contro i Taleban. Le macchinazioni diplomatiche, la guerra in Afghanistan, e la violenza in Kashmir hanno senz'altro peggiorato le prospettive di pace nel Subcontinente. E anche la soppressione delle sanzioni statunitensi, imposte negli anni novanta, ha liberato preziose risorse da investire in armamenti.

I limiti della politica occidentale di non proliferazione, basata sul controllo delle esportazioni di materiali per prevenire l'accesso alle tecnologie nucleari, sono ormai dolorosamente ovvi. I programmi pakistani ne hanno rivelato l'inadeguatezza. Un'efficace strategia di non proliferazione dovrebbe comportare anche azioni diplomatiche sul fronte della domanda, volte a convincere i paesi che la bomba non è un requisito per la sicurezza. La misura più importante, sotto questo profilo, è un progresso verso il disarmo nucleare globale. Qualcuno obietta che il disarmo non abbia alcuna relazione con la non proliferazione. Ma come ha osservato George Perkovich - della W. Alton Jones Foundation di Charlottesville, in Virginia - nel suo magistrale studio sul programma nucleare indiano, una simile premessa è «la più colossale illusione dell'era nucleare». E potrebbe essere la più pericolosa.

@

www.geocities.com/CollegePark/5409/nuclear.html
Articoli di M. V. Ramana sul pericolo nucleare.

www.isis-online.org/publications/southasia/index.html
www.ceip.org/files/Publications/trackingTOC.asp
www.fas.org/nuke/hew/
Siti contenenti numerose informazioni sui programmi nucleari di India e Pakistan

BIBLIOGRAFIA

NAYYAR A. H., TOOR A. H. e MIAN ZIA, *Fissile Material Production Potential in South Asia* in «Science and Global Security», 6, n. 2, pp. 189-203, 1997.
ITTY ABRAHAM, *The Making of the Indian Atomic Bomb: Science, Secrecy and the Postcolonial State*, Zed Books, 1998.
PERKOVICH GEORGE, *India's Nuclear Bomb: The Impact on Global Proliferation*, University of California Press, 1999.
KOTHARI SMITU e MIAN ZIA (a cura), *Out of the Nuclear Shadow*, Zed Books, 2001.

BIZZARRE ILLUSIONI possono essere create dalla forza di gravità. Gli oggetti possono risultare moltiplicati, come accade alla testata di «Scientific American» in questa elaborazione al calcolatore che simula l'effetto della gravità sulla luce. Oppure possono essere ingranditi e deformati, come le galassie distorte per effetto dell'ammasso Abell 2218 (*nella pagina a fronte*). Le grandi galassie giallastre appartengono all'ammasso; le sottili curve bluastre sono le immagini di galassie da cinque a dieci volte più lontane.

I telescopi più grandi non si trovano in cima alle montagne, ma nello spazio profondo. Sono le lenti gravitazionali, ormai uno degli strumenti più importanti dell'astronomia

Il caleidoscopio della GRAVITÀ

di Joachim Wambsganss

Mark Clemens, elaborazione in Adobe Photoshop; Gravitational Lens Filter di Pete Kernan, Case Western Reserve University (theory2.phys.cwru.edu/~pete); Andrew Fruchter, Space Telescope Science Institute e NASA (Abell 2218)

A molti, l'universo può apparire come la stanza degli specchi di un luna-park, pieno di oggetti che definire bizzarri è poco e di fenomeni che mettono alla prova la nostra comprensione della realtà. I più, tuttavia, non si rendono conto di quanto il paragone sia calzante. I cieli sono una galleria di illusioni: quasar che appaiono in quadruplice copia, galassie che, anziché mostrare la loro forma a disco o ellittica, sembrano ridotte a filamenti lunghi e sottili, stelle che compaiono e scompaiono come fari nella nebbia. E proprio come gli psicologi si interessano alle illusioni ottiche per ciò che possono rivelare sul cervello, gli astronomi hanno scoperto che i miraggi celesti svelano un universo che altrimenti sarebbe invisibile. Di solito la luce emessa da un oggetto astronomico segue un percorso rettilineo che attraversa l'immensità dello spazio fino ai telescopi terrestri. Ma, se un secondo oggetto si colloca sulla traiettoria, la sua gravità può deviare la luce, proprio come fa una lente. L'immagine che vediamo è perciò distorta, ingrandita o moltiplicata, e la sua analisi può dare informazioni preziose sia sull'oggetto di fondo sia su quello che funge da lente. Lo studio delle lenti gravitazionali è ancora una disciplina giovane, avendo appena raggiunto la maggiore età come scienza osservativa. Circa dieci anni fa, si conoscevano solo alcuni esempi di lenti. Da

allora, però, si è rivelata tutta una serie di nuove manifestazioni: la microfocalizzazione di quasar e stelle; archetti e deboli effetti di lente negli ammassi di galassie; e, lo scorso anno, la lievissima deformazione causata dalla focalizzazione della struttura a grande scala dell'universo. Qualsiasi cosa abbia massa può fungere da lente; non è necessario che emetta luce propria. Per questo motivo, l'effetto di lente gravitazionale è uno dei pochi strumenti che permettano di cartografare la materia oscura invisibile. E consente anche di indagare la struttura interna dei quasar, di individuare buchi neri nello spazio interstellare e di rilevare pianeti extrasolari di massa paragonabile a quella della Terra.

L'ipotesi delle lenti gravitazionali viene spesso attribuita ad Albert Einstein, ma egli non fu il primo a prevederle. Già nel 1801 Johann Georg von Soldner, astronomo e geografo berlinese, sostenne che la forza di attrazione del Sole potesse curvare i raggi di luce provenienti dalle stelle lontane. Secondo la teoria newtoniana, la posizione di una stella osservata presso il bordo solare dovrebbe differire di 0,84 secondi d'arco rispetto alla sua posizione misurata quando il Sole è lontano nel cielo.

Secondo la relatività generale, tuttavia, l'angolo dovrebbe essere grande il doppio. Come scrisse Einstein: «Metà di questa deflessione è prodotta dal campo gravitazionale newtoniano del Sole, e l'altra metà dalla modificazione geometrica ("curvatura") dello spazio causata dal Sole». Durante l'eclissi di Sole del maggio 1919, Arthur S. Eddington e Frank W. Dyson misurarono questo effetto e confermarono la stima relativistica (anche se la precisione del loro esperimento era probabilmente insufficiente a differenziare le due stime al di là di un ragionevole dubbio).

Einstein si occupò ancora della deflessione gravitazionale della luce negli anni trenta, quando ipotizzò che una stella in primo piano potesse ingrandire l'immagine di una più lontana. Ma era scettico sulla possibilità di osservare realmente una simile illusione. Più ottimisti erano invece l'astrofisico svizzero-americano Fritz Zwicky, che prevedeva un effetto di lente da parte delle galassie e degli ammassi di galassie, e l'americano Henry Norris Russell, il quale proponeva che questa deflessione della luce potesse essere sfruttata per visualizzare e divulgare la relatività. Fu solo nel 1979, però, che gli astronomi riuscirono effettivamente a trovare prove dell'effetto di lente gravitazionale. Nelle pagine successive esamineremo i progressi compiuti da allora.

L'AUTORE

JOACHIM WAMBSGANSS confronta spesso l'effetto di lente gravitazionale con ciò che si vede dal fondo di un bicchiere: paragone naturale, dato che la sua famiglia produce vino nella Valle del Reno. Egli però è professore di fisica all'Università di Potsdam.

Quattro conseguenze della deflessione della luce

● CAMBIAMENTO DI POSIZIONE
La deflessione sposta la posizione apparente di una stella, galassia o quasar nel cielo. Nella maggior parte dei casi, gli osservatori non se ne accorgono, dato che non sanno dove si dovrebbe trovare l'oggetto in assenza di lente. Ma se varia l'allineamento fra la sorgente e la lente - per esempio, se una delle due si muove - si può misurare direttamente lo spostamento.

● INGRANDIMENTO E RIDUZIONE
Deflessione e focalizzazione della luce influenzano la luminosità apparente di una stella o di un quasar. Gran parte delle sorgenti cosmiche viene ridotta, ma talune sono ingrandite. Sono stati misurati ingrandimenti anche di 100 volte o più.

● DEFORMAZIONE
Gli oggetti cosmici estesi (come le galassie) spesso appaiono stirati lungo un cerchio centrato sulla lente, con la formazione di archi. Le sorgenti puntiformi (stelle e quasar, troppo piccoli o lontani per essere visibili in dettaglio) di solito continuano ad apparire come punti luminosi.

● MOLTIPLICAZIONE
Un intenso effetto di lente gravitazionale può produrre immagini multiple. Le immagini in più appaiono sempre a coppie e una di esse è invertita specularmente. Sebbene il numero di immagini debba essere dispari, una è di solito coperta, sicché se ne osserva un numero pari.

LENTI | INGRANDIMENTO | SORGENTE | RISULTATO

SCIENTIFIC AMERICAN

Joachim Wambsganss

QUESTA DISTORSIONE SIMULATA dimostra l'effetto di lente prodotto da un ammasso stellare (*in alto a sinistra*). Quando una lente non è un oggetto singolo ma un gruppo di oggetti, la situazione risultante può essere piuttosto complicata. Gli astronomi la visualizzano preparando una mappa a colori (*in alto a destra*) che mostra l'ingrandimento in funzione della posizione. L'ammasso ingrandisce una fonte di luce in misura piccola (*in blu*), moderata (*in verde*) o grande (*in rosso*). Le linee in giallo sono le cosiddette «caustiche» in corrispondenza delle quali l'ingrandimento è estremamente alto. L'ingrandimento non uniforme può distorcere in maniera fantasmagorica anche una testata di rivista del tutto tradizionale.

I. Come funziona l'effetto di lente

Stelle, galassie e buchi neri possono far deviare i raggi di luce dalla loro traiettoria rettilinea

Un sistema di lente gravitazionale comprende quattro ingredienti: una sorgente lontana di luce (stella, galassia o quasar), una massa intermedia che funga da lente (qualsiasi cosa, da un pianeta a un buco nero), un osservatore sulla Terra e lo spazio nel quale sono collocati tutti e tre gli elementi. La linea che collega lente e osservatore è chiamata asse ottico.

La luce segue sempre la traiettoria più breve possibile fra due punti. Ma Einstein ha dimostrato come il collegamento più breve fra due punti possa essere curvo, esattamente come il cammino più breve fra due punti sulla superficie terrestre è parte di una grande circonferenza. Quando i raggi di luce si avvicinano allo spazio curvo presso un corpo celeste, si piegano e l'entità della deflessione dipende dalla vicinanza dei raggi all'oggetto e dalla massa di quest'ultimo. L'angolo di deflessione è direttamente proporzionale alla massa e inversamente proporzionale alla distanza minima.

Per molti versi, le lenti gravitazionali funzionano come normali lenti di vetro. Una delle principali differenze è che queste ultime hanno un punto focale ben definito, mentre le lenti gravitazionali producono linee o superfici focali. La forma convessa di una lente ordinaria fa sì che l'angolo di deflessione sia direttamente proporzionale alla distanza dall'asse ottico. Tutti i raggi paralleli incidenti convergono in un solo punto posto dietro la lente: il fuoco. In una tipica lente gravitazionale, tuttavia, i raggi di luce subiscono una deflessione tanto minore quanto più sono lontani dall'asse ottico. Per questa ragione, i raggi paralleli deflessi dalla gravità convergono in punti diversi dietro la lente, a seconda della distanza dall'asse ottico alla quale hanno avuto origine. Certe lenti di vetro producono lo stesso effetto: un buon esempio è il fondo di un bicchiere.

Un'altra differenza fra le lenti gravitazionali e quelle ordinarie di vetro è che le prime influenzano allo stesso modo tutte le lunghezze d'onda della radiazione: in altre parole, le lenti gravitazionali sono acromatiche. Per le lenti di vetro, l'entità della deflessione dipende invece dalla lunghezza d'onda della luce. Effetti di lente gravitazionale sono stati misurati in tutto lo spettro elettromagnetico, e persino nei raggi X, che non possono essere focalizzati da lenti ordinarie.

Se il sistema della lente è perfettamente simmetrico - sorgente, lente e osservatore sono allineati e la lente è un punto o una sfera - i raggi convergono in un punto lungo l'asse ottico, e l'immagine risultante è un anello (*sotto*). Ma se il sistema è asimmetrico - se l'allineamento non è perfetto o la lente ha una distribuzione oblunga della massa - l'anello si scompone in immagini variegate e separate. La lente ingrandisce in diversa misura zone differenti della sorgente. L'ingrandimento massimo si ha per le parti della sorgente che ricadono su una curva chiamata «caustica». Un esempio comune di caustica è il reticolo di linee brillanti che si vedono sul fondo di una piscina illuminata dal Sole: le ondulazioni sulla superficie dell'acqua agiscono come lenti irregolari.

Se l'allineamento è molto approssimativo o se la massa della sorgente è assai dispersa, l'effetto di lente è debole. Le immagini sono a malapena distorte o ingrandite. Sebbene in questo caso gli effetti siano difficili da distinguere per un oggetto singolo, possono essere spesso rilevati statisticamente osservando grandi popolazioni di oggetti.

UN SISTEMA DI LENTE GRAVITAZIONALE
Una lente gravitazionale (*la galassia al centro*) focalizza sulla Terra parte dei raggi luminosi provenienti da una galassia lontana (*cono viola*). Gli osservatori hanno l'impressione che la luce abbia percorso una traiettoria rettilinea (*cono giallo*); l'illusione è che essa sia stata emessa da un anello.

Slim Films

LENTE OTTICA CONVESSA
Presso il bordo di una normale lente di vetro la luce è deflessa più di quanto avvenga vicino all'asse ottico. Perciò la lente concentra i raggi paralleli di luce in un punto.

LENTE GRAVITAZIONALE
Presso il bordo di una lente gravitazionale la luce è deflessa meno di quanto avvenga vicino al centro. Perciò la lente concentra i raggi in una linea anziché in un punto.

II. Quasar

Benché siano oggetti enormi, i quasar appaiono come puntini nella maggior parte dei telescopi. L'effetto di lente gravitazionale consente di vederli più in dettaglio

QUASAR MULTIPLI

IL QUASAR QUADRUPLO Q2237+0305

Nel 1979 lo studio delle lenti gravitazionali divenne una scienza osservativa, quando Dennis Walsh e colleghi del Jodrell Bank Observatory, in Inghilterra, scoprirono il quasar doppio Q0957+561: una coppia di quasar pressoché identici posti l'uno accanto all'altro nel cielo. Oggi si conoscono 64 quasar doppi, tripli e multipli separati da distanze di non più di qualche secondo d'arco. Sono oggetti rari, trovandosi in proporzione di circa uno su 500 quasar osservati. Finora il tentativo più ambizioso per determinarne il numero è stato il progetto CLASS (Cosmic Lens All-Sky Survey), che ha cartografato oltre 10 000 radiosorgenti, scoprendo 17 sistemi con immagini multiple.

Per essere certi che un gruppo di quasar è un'illusione ottica, anziché un sistema reale, gli osservatori cercano di rispondere a una serie di domande: i quasar si trovano alla stessa distanza, determinata tramite misurazione dello spostamento verso il rosso? I loro spettri, che per questi oggetti sono vere e proprie impronte digitali, sono identici o almeno molto simili? Esiste una galassia - una possibile lente - fra noi e i quasar? E infine, la luminosità di ciascun quasar varia esattamente allo stesso modo?

Il terzo di questi criteri, ossia l'individuazione di una galassia lente, non è rigido, perché è possibile che la galassia sia molto debole o anche del tutto oscura. Per esempio, potrebbe essere un aggregato di gas in cui non si sono formate stelle. La lente potrebbe anche non essere affatto una galassia, ma un buco nero isolato di massa confrontabile. Tuttavia, in ogni caso ben studiato di immagini multiple di quasar è stato possibile identificare una galassia più o meno normale. Un'implicazione di ciò è che l'universo non contenga un gran numero di galassie oscure o di buchi neri isolati supermassicci.

IL QUASAR DOPPIO HE1104–1805, posto a cavallo di una debole galassia lente

ANELLI DI EINSTEIN

Quando una galassia lente ha simmetria sferica, può ridistribuire la luce di un quasar o di una galassia di fondo formando un cerchio completo. Il diametro dell'anello è proporzionale alla radice quadrata della massa che funge da lente, il che fornisce un modo elegante per determinare la massa della galassia interposta. Oggi si conosce poco più di una decina di anelli di Einstein.

L'ANELLO DI EINSTEIN B1938+666

LA COSTANTE DI HUBBLE

Una delle applicazioni più potenti dell'effetto di lente dei quasar, ipotizzata per la prima volta da Sjur Refsdal dell'Università di Amburgo nel 1964, è la valutazione della costante di Hubble, che è una misura della velocità di espansione dell'universo. La maggior parte delle altre tecniche per determinare questo valore si affida a una lunga serie di misurazioni di distanze, ma il metodo della lente gravitazionale arriva al risultato in un solo balzo.

Quasar Immagine 1
dic 94 gen 95 feb 95 mar 95 apr 95
Quasar Immagine 2
gen 96 feb 96 mar 96 apr 96 mag 96 giu 96
Luminosità relativa
Data

CONFRONTO fra le variazioni di luminosità del quasar doppio Q0957+561

Robert Schmidt, Cambridge University, Space Telescope Science Institute e NASA (*quasar quadruplo*); Lindsay King, Università di Bonn e Class Team (*anello*); Sara Chen, fonte: Tomislav Kundi, Renaissance Technologies (*grafico*); Frederic Courbin, Pontificia Universidad Catolica, Cile (*quasar doppio*)

Quando una delle immagini di un quasar doppio varia la propria luminosità, anche la seconda in genere fa la stessa cosa, ma non esattamente nello stesso momento. Il ritardo è introdotto da due fattori: l'asimmetria dell'effetto di lente (che costringe i raggi di luce che producono ciascuna immagine a seguire cammini di lunghezza leggermente diversa) e il campo gravitazionale della lente (che, secondo la teoria della relatività, riduce la velocità apparente della luce). Da modelli della forma e della distribuzione di massa della lente, è possibile stimare il ritardo temporale come frazione del tempo totale di propagazione della luce. A questo punto, misurando il ritardo e dividendo per questa frazione - che tipicamente è pari a circa un decimiliardesimo - si può calcolare il tempo di propagazione totale della luce del quasar, e dunque la sua distanza. Poiché lo spostamento verso il rosso misura la velocità di allontanamento, diventa possibile calcolare la costante di proporzionalità fra distanza e velocità, ossia la costante di Hubble.

Questa tecnica è stata applicata per la prima volta al quasar doppio Q0957+561 (*si veda il grafico nella pagina a fronte*). Minuscoli lampeggiamenti in una delle immagini (*in blu*) appaiono nell'altra (*in rosso*) circa 417 giorni più tardi, il che implica che il quasar si trova a una distanza di 14 miliardi di anni luce. Sono ora stati misurati i ritardi temporali associati a sette sistemi di quasar multipli. Il valore ricavato della costante di Hubble è un po' basso, ma coerente con quelli ottenuti mediante altre tecniche, ed entro il margine di errore. La maggiore incertezza è data dalla complicata distribuzione di massa delle lenti.

LA COSTANTE COSMOLOGICA

I quasar multipli possono anche essere preziosi per studiare un altro famigerato parametro: la costante cosmologica. Questa costante, o qualcosa di simile, è necessaria per spiegare perché l'espansione dell'universo, a quanto pare, stia accelerando. L'accelerazione ha a che fare con l'effetto di lente perché rende l'universo più grande, e quindi aumenta la probabilità che un quasar subisca questo effetto. Quanto maggiore è l'accelerazione dell'espansione, tanto più grande è il volume dello spazio, e tanto più probabile è lo stabilirsi di un allineamento fra una galassia e un quasar lontano (*qui sotto*). Pertanto il numero dei quasar multipli può imporre un limite superiore alla costante cosmologica.

Nel 1998 Emilio E. Falco, Chris S. Kochanek e José A. Muñoz dello Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics conclusero che la costante cosmologica non può dar conto di più del 62 per cento della densità di energia dell'universo. Se la costante fosse più grande di questo valore, allora si dovrebbero osservare molti più quasar multipli di quanto avvenga. Questa analisi sembra indicare valori della costante più piccoli di quanto facciano le misurazioni cosmologiche, come quella della luminosità delle supernove lontane, ma la differenza non è statisticamente significativa, e studi più recenti hanno allentato i vincoli.

INGRANDIMENTO PRODOTTO DA UN AMMASSO STELLARE: basso (*in blu*); moderato (*in verde*); alto (*in rosso*); molto alto (*in giallo*).
MOTO APPARENTE DEL QUASAR
a
b
c

Joachim Wambsganss (*mappa a colori*); Sara Chen (*grafico*)

L'EFFETTO DI MICROLENTE DEI QUASAR

L'effetto di lente non è sempre così evidente come negli esempi sopra riportati. Se la lente è una stella, per esempio, le immagini sono così ravvicinate che anche i migliori telescopi non riescono a risolverle. Questo cosiddetto effetto di microlente è nondimeno misurabile. Dato che la stella si muove, la configurazione della lente - e quindi il suo potere di ingrandimento - cambia nel tempo. Se gli osservatori vedono un quasar diventare più brillante e poi indebolirsi in un modo particolare, possono dedurne che una stella sia passata davanti a esso e ne abbia per breve tempo ingrandito l'immagine.

Il problema è che i quasar sono variabili: essi tendono intrinsecamente ad aumentare e ridurre la propria luminosità. Per distinguere le fluttuazioni dovute all'effetto di microlente dalla variabilità intrinseca del quasar, gli astronomi tengono sotto controllo i sistemi di quasar multipli. Se una delle immagini varia, ma non le altre, è possibile che una stella nella galassia lente sia transitata attraverso la linea di vista e abbia temporaneamente aumentato di poco l'effetto di ingrandimento già prodotto dalla galassia nel suo insieme. I cambiamenti intrinseci, viceversa, appaiono in tutte le immagini. Dal 1989, gli astronomi hanno dimostrato la presenza dell'effetto di microlente in cinque sistemi di quasar multipli.

La luminosità del quasar aumenta uniformemente finché incontra una caustica, e poi crolla bruscamente. L'effetto dipende dalla grandezza del quasar: quanto più esso è piccolo, tanto più ripida è la variazione di luminosità. Questi andamenti forniscono un modo per misurare la dimensione del quasar e sondarne la struttura interna. La luminosità varia in maniera più repentina in luce blu che non in luce rossa. Di conseguenza, si può concludere che le parti interne di un quasar sono più calde e più blu di quelle esterne. Osservando gli incroci delle caustiche con filtri colorati, è possibile ricostruire il profilo di luminosità del quasar.

FLUTTUAZIONI DI LUMINOSITÀ di un quasar che passa dietro l'ammasso stellare
a
b
c
Luminosità relativa
Tempo →

III. Galassie

L'effetto di lente delle galassie tradisce la presenza di materia oscura

ARCHI LUMINOSI GIGANTI

Se la lente non è una galassia singola, ma un intero ammasso, l'immagine può risultare un caleidoscopio di archi e archetti fortemente distorti. I primi archi luminosi giganti furono scoperti indipendentemente nel 1986 da Roger Lynds del National Optical Astronomy Observatory con la collaborazione di Vahé Petrosian della Stanford University e da Geneviève Soucail e colleghi dell'Osservatorio Midi-Pyrénées. A oggi sono stati identificati quasi 100 di questi ammassi di archi, di cui Abell 2218 è uno degli esempi più straordinari (*a sinistra*).

Con l'aiuto di queste immagini, si può ricostruire la distribuzione di massa nell'interno dell'ammasso. I risultati, come quelli forniti da altre tecniche per misurare la massa degli ammassi, implicano che in questi ultimi predomini la materia oscura invisibile. Per di più, come i quasar multipli, i sistemi di archi consentono la stima di parametri come la costante cosmologica. Nel 1998 Matthias Bartelmann del Max-Planck-Institut per l'astrofisica di Garching e colleghi hanno sfruttato il numero di sistemi di archi osservati per misurare la costante cosmologica, ricavando un valore più basso di quello ottenuto mediante altri metodi. La discrepanza non è stata ancora risolta.

L'AMMASSO ABELL 2218 distorce le immagini di galassie più lontane.

LA DEFORMAZIONE COSMICA

A scale estremamente grandi, più grandi anche degli ammassi di galassie, gli agglomerati di materia tendono a essere troppo ampi e uniformi per fungere da lente. Eventuali distorsioni delle immagini galattiche tendono a confondersi con la variabilità naturale delle forme delle galassie. Ma quando si analizzano migliaia di galassie è possibile servirsi di metodi statistici per cercare distorsioni minuscole, ma sistematiche. Lo scorso anno quattro gruppi di ricerca - diretti da David J. Bacon dell'Università di Cambridge, Nick Kaiser dell'Institute for Astronomy dell'Università delle Hawaii, Ludovic van Waerbeke del Canadian Institute for Theoretical Astrophysics e David M. Wittman della Lucent Technologies di Murray Hill, nel New Jersey - hanno scoperto indipendentemente questo debolissimo effetto di lente gravitazionale. La diffusa deformazione delle immagini galattiche fa pensare che l'universo sia una ragnatela gigantesca di materia alternata a zone vuote.

LA DISTRIBUZIONE DELLA MATERIA OSCURA ricostruita mediante l'effetto di deformazione cosmica.

IV. Stelle

La distorsione stellare è troppo lieve per essere osservata, ma si rivela con una lenta variabilità

L'EFFETTO DI MICROLENTE DELLE STELLE

L'effetto di lente è un mezzo ideale per stanare la materia oscura che si annida nella regione più esterna della nostra galassia: l'alone. Parte di questa materia oscura potrebbe essere composta da particelle elementari esotiche, ma possono essere presenti anche oggetti macroscopici che i telescopi, per varie ragioni, non riescono a individuare direttamente, come pianeti vagabondi, stelle morte o buchi neri. Nel 1986 Bohdan Paczyński della Princeton University propose una tecnica per cercare simili oggetti, chiamati collettivamente MACHO, ossia oggetti massicci e compatti dell'alone.

Se un MACHO passa di fronte a una stella di fondo, la ingrandisce e ne crea una seconda immagine (*qui sotto*). Gli osservatori non sono in grado di risolverle, ma notano un aumento temporaneo di luminosità. La durata dell'evento è proporzionale alla radice quadrata della massa della lente. Questo effetto di microlente è relativamente facile da distinguere dagli altri meccanismi che provocano variazioni della luminosità stellare. In ogni dato momento, la probabilità che si verifichi un opportuno allineamento è solo una su un milione circa. Ma se si tengono sotto controllo milioni di stelle per volta, si dovrebbe di tanto in tanto osservare un effetto di microlente.

Nei primi anni novanta diversi gruppi di ricerca, che si distinguevano per i fantasiosi acronimi - in particolare il francese EROS, l'americano-australiano MACHO e il polacco-americano OGLE - cominciarono ad applicare questo metodo. Tenendo sotto osservazione stelle della Grande nube di Magellano, una piccola galassia satellite della Via Lattea, i ricercatori rilevarono in totale una ventina di eventi di microfocalizzazione nel corso di sette anni. Questi eventi avevano una durata variabile da qualche settimana a parecchi mesi; se ne concludeva che gli oggetti avessero all'incirca metà della massa del Sole. Il numero di eventi, tuttavia, era sufficiente per spiegare solo una piccola frazione della materia oscura. Tecniche analoghe per altre galassie fanno pensare che anche in esse la materia oscura non possa essere composta interamente da MACHO.

I medesimi gruppi hanno anche tenuto sotto osservazione stelle nella direzione del centro della Via Lattea, osservando oltre 500 eventi di microfocalizzazione, ossia molti più di quanti ne attendessero. In questo caso, le lenti non erano MACHO, ma più probabilmente stelle normali di piccola massa. Una ridotta percentuale sembrava costituita da stelle doppie, le quali facevano variare bruscamente la luminosità a causa di attraversamenti di caustiche. Lo studio di questi attraversamenti può rivelare le proprietà delle atmosfere e delle superfici stellari: è il solo modo che gli astronomi possiedono per discernere dettagli così fini su stelle lontane. Alcuni eventi di microfocalizzazione potrebbero essere stati causati da buchi neri di massa stellare.

UN EVENTO DI MICROFOCALIZZAZIONE apparirebbe così se i telescopi avessero una risoluzione sufficiente. In pratica, si osserva solamente un aumento della luminosità.

Andrew Fruchter, Space Telescope Science Institute e NASA (*Abell 2218*); Yannick Mellier, Istituto di astrofisica di Parigi (*materia oscura*); Sara Chen (*microlente*)

LA SIMULAZIONE DI UN EVENTO DI MICROFOCALIZZAZIONE stella-pianeta mostra come anche un piccolo pianeta possa avere un notevole effetto sulla luminosità. Le mappe a colori (*a sinistra*) mostrano come l'ingrandimento vari con la posizione; i tre diagrammi corrispondono ad altrettante distanze fra il pianeta e la stella. Quando una stella di fondo attraversa una di queste mappe, è ingrandita in misura bassa (*in blu*), moderata (*in verde*), alta (*in rosso*) o molto alta (*in giallo*). Di conseguenza, la luminosità sembra fluttuare (*a destra*).

Joachim Wambsganss (*mappa a colori*); Sara Chen (*grafico*)

PIANETI EXTRASOLARI

Le microlenti stellari possono anche consentire di individuare pianeti. Parecchi gruppi di osservatori - il gruppo PLANET (Probing Lensing Anomalies Network), diretto da Penny D. Sackett dell'Università di Groningen nei Paesi Bassi, il gruppo MPS (Microlensing Planet Search), sotto la guida di David P. Bennett dell'Università di Notre Dame, e il gruppo MOA (Microlensing Observations in Astrophysics), guidato da Philip Yock dell'Università di Auckland in Nuova Zelanda - hanno compiuto un esame dettagliato di alcuni degli eventi osservati nelle ricerche sulla materia oscura. In due casi, gli osservatori hanno notato un lampo: un impulso di maggiore intensità luminosa che potrebbe essere stato causato da un pianeta in orbita intorno alla stella lente. Tipicamente il lampo durava qualche ora e incrementava la luminosità di alcuni punti percentuali.

Sebbene l'individuazione di questi pianeti non abbia avuto conferma indipendente, il principio su cui si basa è saldo. È solo questione di tempo prima che l'effetto di lente gravitazionale riveli tutto un elenco di convincenti candidati a pianeti. La maggior parte delle altre tecniche di individuazione cerca di evidenziare l'effetto del pianeta sulla sua stella, che dipende fortemente dalla massa o dalla dimensione del pianeta stesso. Ma con la tecnica che si basa sulla lente gravitazionale anche un pianeta di piccola massa produce una caustica che comporta un notevole ingrandimento della stella di fondo (*qui sopra*).

Cinque mesi fa un gruppo di scienziati guidati da Kailash C. Sahu dello Space Telescope Science Institute rilevò lampeggiamenti in alcune stelle della parte centrale della Via Lattea, che furono interpretati ipoteticamente come microfocalizzazioni da parte di pianeti solitari nell'ammasso globulare M22: un'ipotesi ardita che, se confermata, avrebbe profonde implicazioni sulla frequenza di oggetti di dimensioni planetarie nella Galassia. Prima di questo annuncio si dava per scontato che i pianeti esistessero solo in orbita intorno a una stella, e non isolati nello spazio profondo. È un altro esempio di come talvolta gli scienziati possono avvicinarsi alla verità studiando le «illusioni».

BIBLIOGRAFIA

SCHNEIDER PETER, EHLERS JÜRGEN e FALCO EMILIO E., *Gravitational Lenses*, Springer, 1999.

MELLIER YANNICK, *Probing the Universe with Weak Lensing*, in «Annual Review of Astronomy and Astrophysics», 37, pp. 127-189, 1999.

PETTERS ARLIE O., LEVINE HAROLD e WAMBSGANSS JOACHIM, *Singularity Theory and Gravitational Lensing*, Birkhäuser, 2001.

WAMBSGANSS JOACHIM, *Gravitational Lensing: A Brief Review*, in *Sources and Scintillations: Refraction and Scattering in Radio Astronomy*, atti dello IAU Colloquium 182, 2001.

WAMBSGANSS JOACHIM, *Gravitational Lensing in Astronomy*, in «Living Reviews in Relativity»; disponibile all'indirizzo Internet www.livingreviews.org/Articles/Volume1/1998-12wamb/

Sito dello Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics/Arizona Space Telescope Lens Survey: cfa-www.harvard.edu/glensdata/

Sito dell'Università di Liegi: vela.astro.ulg.ac.be/grav_lens/grav_lens.html

La potenza delle PICCOLE COSE

di A. Paul Alivisatos

Sofisticate forme di nanotecnologie troveranno alcune delle prime applicazioni nella ricerca biomedica, nella diagnosi e, forse, nella cura delle malattie

Immagine di Felice Frankel, con il contributo tecnico di K. F. Jensen, M. G. Bawendi, C. Murray, C. Kagan, B. Dabbousi, J. Rodriguez-Viego, MIT

QUESTI CONTENITORI FORTEMENTE INGRANDITI contengono soluzioni di punti quantici - nanocristalli semiconduttori - di dimensioni specifiche. Le dimensioni di un punto quantico determinano il colore della radiazione che esso riemette dopo essere stato esposto alla luce. Fissando punti quantici di differenti dimensioni a diverse molecole biologiche, i ricercatori possono seguire contemporaneamente l'attività di molte molecole.

Il film *Viaggio allucinante* del 1966 propose al pubblico un'audace visione della nanotecnologia applicata alla medicina: con metodi misteriosi, un gruppo di intrepidi medici e il loro sottomarino di alta tecnologia venivano ridotti a dimensioni minuscole, affinché potessero viaggiare nel flusso sanguigno di un paziente e rimuovere un pericoloso coagulo di sangue dal suo cervello. Negli ultimi 35 anni, sono stati compiuti significativi progressi nella fabbricazione di complessi dispositivi a scala sempre più piccola, facendo credere ad alcuni che forme di intervento medico come quella descritta nel film siano possibili e che minuscoli robot percorreranno presto i vasi sanguigni di tutti noi. Certamente in alcuni ambienti l'idea viene presa tanto sul serio che sono emerse preoccupazioni sul lato oscuro di questa tecnologia: potrebbero alcuni automi autoreplicanti a scala nanometrica impazzire e distruggere l'intero mondo biologico? Secondo me e molti altri ricercatori, simili idee appartengono decisamente al mondo della fantascienza. Tuttavia la nanotecnologia può effettivamente migliorare gli strumenti della ricerca biomedica: per esempio, fornendo nuovi tipi di marcatori per studi diretti a scoprire nuovi farmaci o a rivelare quali geni siano attivi nelle cellule in varie condizioni. I dispositivi a scala nanometrica potrebbero anche trovare importanti applicazioni nei sistemi diagnostici rapidi e in alcuni test ge-

Le tecnologie emergenti non saranno fotogeniche come una Raquel Welch in miniatura che spara con un laser... ma sono altrettanto eccezionali, per i benefici che daranno

netici, come quelli intesi a determinare la predisposizione di un individuo a determinate malattie o a rivelare quali geni sono mutati in un tumore. Si sta studiando anche il loro impiego come agenti di contrasto per la realizzazione di immagini diagnostiche con metodi non invasivi e come veicoli per la somministrazione di farmaci. Le tecnologie emergenti potrebbero non essere fotogeniche come una minuscola Raquel Welch che spara con un laser a un coagulo di sangue, ma sono certamente altrettanto sensazionali, perché i benefici che esse offrono a pazienti e ricercatori sono reali.

Come può la nanotecnologia fare tutte queste cose? La risposta dipende da come la si definisce: per esempio si potrebbe sostenere che tutta la biologia è una forma di nanotecnologia. Dopo tutto, anche l'essere vivente più complesso è composto di minuscole cellule, che a loro volta sono costituite da mattoni a nanoscala: proteine, lipidi, acidi nucleici e altre complesse molecole biologiche. Ma, per convenzione, il termine «nanotecnologia» è normalmente ristretto a costruzioni artificiali fatte, per esempio, di semiconduttori, materie plastiche, metalli o vetro. Alcune strutture inorganiche a scala nanometrica - minuscoli cristalli, per esempio - sono già state messe in commercio, soprattutto come agenti di contrasto.

Attrazione magnetica

La natura stessa ci offre un bell'esempio dell'utilità di simili cristalli inorganici in un contesto biologico: gli umili batteri magnetotattici (ovvero sensibili al magnetismo). Questi organismi, che vivono nell'acqua e in particolare nei fondali fangosi, prosperano solo a una particolare profondità: al di sopra di questo livello l'ossigeno è troppo abbondante e al di sotto troppo scarso. Un batterio che si allontani dal livello appropriato deve tornare indietro, e quindi, come molti loro cugini, questi batteri sono dotati di un flagello per la propulsione. Ma come fa questa cellula galleggiante a distinguere l'alto dal basso, quando la gravità non ha pressoché alcun effetto su di essa?

La risposta è che il batterio ha, al proprio interno, una catena costituita da circa 20 cristalli magnetici, ciascuno con un diametro compreso fra 35 e 120 nanometri, che insieme costituiscono una bussola in miniatura. Poiché il campo magnetico terrestre è quasi ovunque inclinato (non punta solo a nord, ma anche in giù nell'emisfero settentrionale e in su in quello meridionale), un batterio magnetotattico può seguire le linee del campo magnetico verso l'alto o verso il basso fino alla destinazione desiderata.

Questa bussola è una meraviglia dell'ingegneria naturale a scala nanometrica. Per prima cosa, è fatta del materiale più adatto: magnetite o greigite, entrambi minerali di ferro altamente magnetici. L'utilizzo di cristalli multipli non è certo casuale. A scale molto piccole, quanto più una particella magnetica è grande, tanto più a lungo rimane magnetizzata; ma, se è troppo grande, allora forma spontaneamente due domini magnetici con magnetizzazioni opposte. Un simile cristallo ha una magnetizzazione totale molto piccola e non funziona in modo efficiente come ago di una bussola. Utilizzando invece piccoli cristalli che hanno proprio le dimensioni adatte per esistere come singoli domini magnetici, il batterio sfrutta al meglio tutto il ferro disponibile. È interessante notare che la stessa strategia viene impiegata nella progettazione dei materiali per gli *hard disk*, nei quali si usano nanocristalli magnetici che hanno le giuste dimensioni per essere insieme stabili e resistenti.

Cristalli magnetici artificiali di simili dimensioni potrebbero presto aprire nuove prospettive per la ricerca biomedica. Due gruppi di ricercatori, l'uno in Germania e l'altro presso la mia istituzione, l'Università della California a Berkeley, stanno studiando l'impiego di nanoparticelle magnetiche come rivelatori di microrganismi patogeni.

Questo metodo, come molte tecniche applicate attualmente, richiede opportuni anticorpi che si leghino a bersagli specifici. Le particelle magnetiche vengono fissate, come etichette, ad anticorpi selezionati, che sono poi incorporati nel campione da studiare. Per vedere se gli anticorpi si sono legati al loro bersaglio, si applica un forte campo magnetico (che magnetizza temporaneamente le particelle) e poi si esamina il campione con uno strumento sensibile, capace di rilevare i deboli campi magnetici emanati dalle particelle. Gli anticorpi marcati che non si sono legati al campione si muovono così rapidamente nella soluzione che non emettono alcun segnale magnetico. Gli anticorpi legati, invece, non possono ruotare, e assieme alle loro etichette magnetiche generano un campo magnetico facilmente misurabile.

Poiché le particelle non legate non producono segnale, questo metodo evita le fasi di lavaggio del campione normalmente necessarie, che richiedono molto tempo. La sensibilità dimostrata da questa tecnica sperimentale è già migliore di quella dei metodi standard, e miglioramenti dell'apparato sperimentale dovrebbero presto aumentarla di alcune centinaia di volte.

Nonostante questi vantaggi, il metodo magnetico probabilmente non rimpiazzerà del tutto la tradizionale pratica di marcare i campioni con coloranti fluorescenti, ossia molecole organiche che emettono luce di un colore caratteristico quando vengono eccitate da radiazione di una particolare lunghezza d'onda. I colori sono molto utili in varie procedure diagnostiche e di ricerca, soprattutto quando è necessario seguire contemporaneamente più di un marcatore.

IN PILLOLE

- Oggetti a scala nanometrica fatti di materiali inorganici potrebbero essere utili alla ricerca biomedica, per la diagnosi di malattie e anche per la terapia.
- I test biologici che rivelano la presenza e l'attività di particolari sostanze diventano più veloci, sensibili e flessibili quando vengono sfruttate come marcatori certe particelle nanometriche.
- Le nanoparticelle potrebbero essere usate per somministrare farmaci solo dove sono necessari, evitando gli effetti collaterali spesso provocati dagli agenti terapeutici più potenti.
- «Mattoni» artificiali nanometrici potrebbero un giorno aiutare a riparare tessuti come la pelle, la cartilagine e le ossa, e persino a rigenerare interi organi.

Grandi progetti per la medicina

La National Nanotechnology Initiative comprende fra i suoi obiettivi, o «grandi sfide», una serie di futuristici miglioramenti nell'individuazione, nella diagnosi e nel trattamento delle malattie, alcuni dei quali sono qui illustrati. Gli obiettivi, spesso ancora lontani dall'essere realizzati, comprendono anche nuovi ausili per la vista e l'udito, test rapidi per rivelare la predisposizione a malattie e la risposta ai farmaci e minuscoli dispositivi capaci di individuare situazioni problematiche - come un tumore incipiente, un'infezione o una disfunzione cardiaca - e di trasmettere l'informazione a un ricevitore esterno, o anche di risolverle immediatamente.

1 OBIETTIVO: migliori immagini diagnostiche

Agenti di contrasto nuovi o migliorati permetterebbero di individuare molti problemi nei primi stadi di sviluppo, quando sono più curabili. Potrebbero, per esempio, rilevare tumori (*in rosso*) quando sono allo stadio di poche cellule.

2 OBIETTIVO: nuovi metodi terapeutici

Le nanoparticelle somministrerebbero trattamenti in siti specifici, alcuni dei quali non vengono raggiunti facilmente dai farmaci tradizionali. Per esempio, nanogusci d'oro (*sfere*) trattati in modo da avere come bersagli specifici le cellule tumorali potrebbero, illuminati da luce infrarossa, scaldarsi abbastanza per distruggere le neoplasie.

3 OBIETTIVO: protesi migliori

Modificazioni a scala nanometrica delle superfici delle protesi ne aumenterebbero durata e biocompatibilità. Per esempio, un'anca artificiale ricoperta con nanoparticelle potrebbe legarsi all'osso circostante in modo più stabile.

Jeff Johnson, Hybrid Medical Animation

Anche il mondo dell'elettronica moderna è ricco di materiali che emettono luce. Un lettore di CD, per esempio, utilizza la luce di un diodo laser a stato solido, che è costituito da un semiconduttore inorganico. Immaginate di prelevare un pezzetto incredibilmente piccolo di quel materiale, delle dimensioni di una molecola proteica. Il risultato è un nanocristallo semiconduttore, o «punto quantico». Come i cristalli magnetici a nanoscala, questi minuscoli punti hanno molto da offrire alla ricerca biomedica.

Come suggerisce il nome, i punti quantici devono le loro speciali proprietà alle strane regole della meccanica quantistica; le stesse regole che fanno sì che gli elettroni negli atomi debbano trovarsi solo in certi livelli energetici discreti. La molecola di un colorante organico assorbe solo fotoni che hanno la giusta energia per portare i suoi elettroni dal loro stato «di riposo» a uno dei più alti livelli eccitati a loro accessibili. Ciò significa che la luce incidente deve avere esattamente la giusta lunghezza d'onda per svolgere questo compito. La molecola in seguito emette un fotone quando l'elettrone ritorna al livello energetico fondamentale.

Questo fenomeno è molto diverso da quanto accade in un semiconduttore macroscopico, che permette agli elettroni di occupare due larghe bande di energia. Simili materiali possono assorbire fotoni in un vasto intervallo di lunghezze d'onda (tutti quelli che hanno abbastanza energia per coprire la separazione fra le due bande), ma emettono luce solo a una specifica lunghezza d'onda, che corrisponde alla separazione fra le bande. I punti quantici sono un caso intermedio. Come i semiconduttori macroscopici, essi assorbono fotoni di tutte le energia al di sopra della soglia della separazione fra le bande. Ma la lunghezza d'onda della luce emessa da un punto quantico dipende molto fortemente dalle dimensioni del punto. Così, un solo tipo di materiale semiconduttore può generare un'intera famiglia di marcatori di colori nettamente diversi.

I fisici cominciarono a studiare i punti quantici negli anni settanta, pensando che potessero un giorno servire a costruire nuovi dispositivi ottici o elettronici. Pochi dei primi ricercatori immaginavano che questi oggetti potessero aiutare a diagnosticare malattie o a scoprire nuovi farmaci. E nessuno avrebbe

Come terapia, si potrebbero incapsulare farmaci in contenitori a scala nanometrica che ne controllino il rilascio in modo mirato

sognato che la prima applicazione dei punti quantici sarebbe stata in biologia e medicina. Costruire punti quantici che funzionano correttamente nei sistemi biologici ha richiesto anni di ricerca, è vero, ma ora essi sono una realtà.

La coalizione arcobaleno

La società in prima fila nella commercializzazione di questa tecnologia, la Quantum Dot Corporation, ha brevettato varie tecniche sviluppate nel mio laboratorio e presso il Massachusetts Institute of Technology, l'Università dell'Indiana, il Lawrence Berkeley National Laboratory e l'Università di Melbourne in Australia. Io ho preso parte alla fondazione di questa compagnia, per cui il mio è un parere di parte, ma prevedo per i punti quantici un futuro molto brillante.

I nanocristalli semiconduttori presentano molti vantaggi rispetto ai coloranti tradizionali. Per prima cosa, possono sopportare molti più cicli di eccitazione ed emissione di luce di una tipica molecola organica, che si decompone presto. La loro stabilità permette ai ricercatori di seguire ciò che avviene nelle cellule e nei tessuti per tempi più lunghi di quanto sia ora possibile. Ma il beneficio più grande offerto dai nanocristalli semiconduttori è meno evidente: essi hanno più colori.

I sistemi biologici sono molto complessi e spesso se ne devono osservare contemporaneamente numerosi componenti, un compito difficile da realizzare con i coloranti organici perché ognuno di essi deve essere eccitato con una lunghezza d'onda diversa. Ma i punti quantici rendono possibile marcare contemporaneamente varie molecole biologiche, ognuna con un cristallo di diverse dimensioni, e quindi colore. E poiché tutti questi cristalli possono essere eccitati con una singola sorgente luminosa, è possibile osservarli contemporaneamente.

Questo approccio viene perseguito attivamente, ma i punti quantici offrono possibilità ancora più interessanti. Immaginate una perlina di lattice riempita con una combinazione di punti quantici; potrebbe, per esempio, contenere punti di cinque dimensioni diverse - ossia cinque colori - in varie concentrazioni. Quando la perlina viene illuminata, emette luce, che è poi fatta passare attraverso un prisma per ottenere cinque diverse righe spettrali di intensità voluta: un codice a barre spettrale. In questo modo si può realizzare un enorme numero di etichette distinte (miliardi, potenzialmente), ognuna delle quali potrebbe essere fissata, per esempio, a molecole di DNA composte di diverse sequenze di nucleotidi.

Questa tecnica permetterebbe di confrontare facilmente il materiale genetico di un campione con una libreria di sequenze di DNA note, per determinare, per esempio, quali geni siano attivi in una certa cellula o tessuto. Si esporrebbe semplicemente il campione a tutta la libreria di molecole unite alle loro perline e si leggerebbero i codici a barre spettrali dei DNA della libreria che si legano alle sequenze del campione. Poiché il legame avviene solo quando le sequenze genetiche corrispondono quasi perfettamente (o, più precisamente, quando l'una è complementare dell'altra), il risultato rivelerebbe immediatamente la natura del materiale genetico in esame.

I punti quantici semiconduttori dovrebbero presto essere utilizzati in questo modo in biomedicina, ma essi non sono le uniche nanostrutture utili per rivelare otticamente la composizione genetica di campioni biologici. Un altro esempio deriva dal lavoro di Chad A. Mirkin e Robert L. Letsinger, della Northwestern University, che hanno messo a punto di recente un ingegnoso metodo per verificare la presenza di una specifica sequenza genetica in soluzione. La loro tecnica impiega particelle d'oro del diametro di 13 nanometri, a cui sono fissati spezzoni di DNA.

Il trucco è quello di usare due insiemi di particelle d'oro. Il primo trasporta DNA che si lega a una metà della sequenza bersaglio; il secondo trasporta DNA che si lega alla seconda metà. Il DNA della soluzione con la sequenza bersaglio completa si lega subito alle particelle di entrambi i gruppi, riunendole assieme. Poiché ogni particella ha vari «tentacoli» di DNA, i frammenti di materiale genetico che contengono la sequenza bersaglio possono unire insieme molte particelle. E quando questi piccoli frammenti d'oro si aggregano, le loro proprietà

Shuming Nie / Indiana University

MINUSCOLE PERLINE DI LATTICE RIEMPITE DI PUNTI QUANTICI colorati emettono luce circa alla stessa lunghezza d'onda dei punti stessi. I ricercatori hanno anche caricato insiemi di punti differenti in una singola perlina, allo scopo di creare un'enorme varietà di etichette diverse per test biologici.

L'AUTORE

A. PAUL ALIVISATOS è professore al Dipartimento di chimica dell'Università della California a Berkeley, dove ha conseguito il dottorato in chimica fisica nel 1986. È membro della American Association for the Advancement of Science e della American Physical Society, e ha ricevuto molti riconoscimenti per le sue ricerche sulle proprietà fisiche dei nanocristalli. È anche uno dei fondatori della Quantum Dot Corporation, il cui obiettivo è la commercializzazione di nanocristalli semiconduttori come marcatori fluorescenti nei test biomedici.

La bionanotecnologia in azione

Gli oggetti qui mostrati potrebbero un giorno aumentare la velocità e la potenza dei test biomedici, come quelli usati per individuare in piccoli campioni la presenza di una particolare sequenza genetica. Per chiarezza, i disegni non sono in scala.

MARCATORI MAGNETICI

Molti test rivelano la presenza di una molecola o di un organismo patogeno individuando il legame di un anticorpo a quel particolare bersaglio. Quando anticorpi marcati con nanoparticelle magnetiche si legano al loro bersaglio su una superficie, una breve esposizione a un campo magnetico fa sì che esse generino collettivamente un intenso segnale magnetico. Allo stesso tempo, gli anticorpi non legati si muovono in tutte le direzioni, senza produrre un segnale rilevabile. Quest'ultima proprietà permette di leggere i risultati senza prima eliminare con il lavaggio i marcatori che non hanno trovato il loro obiettivo.

PARTICELLE D'ORO

Nanoparticelle d'oro cui sono fissati brevi segmenti di DNA possono servire per un test di semplice lettura che indichi la presenza di una sequenza genetica (*in nero*) in un campione. DNA complementare a metà della sequenza (*in rosso*) è fissato a un insieme di particelle in soluzione, e quello complementare all'altra metà (*in blu*) è attaccato a un secondo insieme di particelle. Se la sequenza che interessa è presente, essa si lega ai «tentacoli» di DNA di entrambi i gruppi di sfere, intrappolandole in una fitta rete. L'aggregazione fa sì che la soluzione cambi colore (*da rosso a blu*).

BACCHETTE INTELLIGENTI

I campioni biologici possono essere analizzati allo scopo di individuare la presenza di particolari sequenze genetiche usando bacchettine elastiche del tipo impiegato nei microscopi a forza atomica. La superficie di ogni bacchetta viene ricoperta con DNA in grado di legarsi a una particolare sequenza bersaglio. Quando le bacchette vengono esposte al campione da esaminare, il legame induce una tensione superficiale che le piega di alcuni nanometri: non è molto, ma abbastanza per indicare la presenza della sequenza genetica bersaglio.

NANOCODICI A BARRE

Perline di lattice riempite di semiconduttori a scala nanometrica di vari colori - chiamati punti quantici - possono trovare un'applicazione come marcatori universali per un gran numero di sostanze diverse. In risposta alla luce, le perline identificherebbero se stesse (e quindi le molecole a esse fissate) emettendo luce che può essere suddivisa in uno spettro caratteristico di colori e intensità: una specie di codice a barre spettrale.

Jeff Johnson, Hybrid Medical Animation

Un lavoretto di idraulica

La maggior parte delle nanotecnologie in fase di sviluppo per impieghi biomedici prende la forma di minuscoli oggetti immersi in grandi quantitativi di liquido, che sia acqua, sangue o una complessa miscela sperimentale. Ma si stanno anche costruendo dispositivi per manipolare minuscole quantità di questi liquidi. Questi cosiddetti sistemi a microfluidi pompano soluzioni attraverso sottili canali, controllandone il flusso con valvole in miniatura e intensi campi elettrici.

La capacità di manipolare in questo modo minuscole quantità di una soluzione permette di condurre molti esperimenti diversi su un modesto quantitativo di campione in modo molto efficiente, con centinaia di test eseguiti sulla superficie di un singolo vetrino per microscopio. I dispositivi a microfluidi offrono anche un mezzo per effettuare esperimenti che non potrebbero essere svolti diversamente: per esempio, per somministrare soluzioni di prova di composizione specifica a diverse parti di una cellula in esame.

Sebbene molti dei componenti che si stanno creando per questi sistemi siano considerevolmente più grandi di un micrometro, alcuni dispositivi sperimentali hanno dimensioni a scala nanometrica. In particolare, il gruppo di ricerca di Harold G. Craighead, alla Cornell University di Ithaca, ha ideato metodi per separare frammenti di DNA di diverse dimensioni in acqua a seconda della velocità con cui essi attraversano passaggi di 100 nanometri di diametro o percorrono microcanali che ripetutamente si riducono fino a profondità di 75-100 nanometri. Questi o altri dispositivi a nanofluidi sarebbero potenzialmente in grado di aumentare la velocità e ridurre così il costo della separazione di molecole di DNA per la sequenziazione e potrebbero in teoria essere adattati alla separazione di proteine o altre molecole.

ottiche cambiano in modo sensibile, facendo diventare blu la soluzione, che prima era rossa. Poiché il risultato di questa prova è evidente a occhio nudo, un simile sistema sarebbe particolarmente utile per test genetici casalinghi.

Sentire la forza

Nessuna trattazione della bionanotecnologia sarebbe completa senza citare almeno brevemente uno degli strumenti più in voga della scienza moderna: il microscopio a forza atomica. Questi dispositivi esaminano i campioni nello stesso modo in cui un vecchio giradischi leggeva i solchi nel vinile: trascinando una punta sottile sulla superficie e misurando le deflessioni risultanti. La punta di un microscopio a forza atomica è molto più sottile della puntina di un giradischi, sicché è sensibile a strutture molto più piccole. Purtroppo, costruire punte per questi microscopi che siano allo stesso tempo sottili e resistenti si è rivelato molto difficile.

La soluzione si ebbe nel 1996, quando alcuni ricercatori della Rice University fissarono un sottile nanotubo di carbonio all'estremità della punta di un microscopio a forza atomica, rendendo possibile l'analisi di campioni di minuscole dimensioni, fino a pochi nanometri. Nel 1998 Charles M. Lieber e colleghi della Harvard University applicarono questa tecnica all'analisi di molecole biologiche, mettendo a punto un metodo per esaminare i composti più complessi e le loro interazioni con altissima risoluzione.

Ma la microscopia a forza atomica potrebbe presto non servire più solo a compiere misurazioni scientifiche. L'anno scorso James K. Gimzewski, allora presso i Laboratori di ricerca della IBM a Zurigo, dimostrò, con alcuni collaboratori dell'IBM e dell'Università di Basilea, che una matrice di bacchettine elastiche a scala micrometrica, molto simili a quelle usate nei microscopi a forza atomica, potrebbe essere usata per rilevare rapidamente la presenza di certe sequenze genetiche in un campione. Essi hanno fissato brevi spezzoni di DNA alle estremità delle bacchettine. Quando materiale genetico che trasporta una sequenza complementare si lega agli spezzoni ancorati, induce una tensione superficiale che piega leggermente la bacchetta: appena di qualche nanometro, ma abbastanza per essere rilevata. Costruendo dispositivi con molte bacchette, e ricoprendone ognuna con un diverso tipo di DNA, dovrebbe essere possibile verificare rapidamente la presenza di una particolare sequenza genetica in un campione biologico (come viene fatto ora normalmente con i chip genici) con mezzi nanomeccanici e senza la necessità di marcatori.

Questo esempio, come gli altri descritti prima, mostra che le connessioni tra la nanotecnologia e la pratica della medicina sono spesso indirette. Molti nuovi lavori produrranno solo migliori strumenti di ricerca o di diagnosi, ma in alcuni casi i nano-oggetti in via di sviluppo potrebbero rivelarsi essi stessi utili per la terapia. Si potrebbe, per esempio, incapsulare un farmaco in una «confezione» nanometrica che ne controlli il rilascio in modi sofisticati.

Consideriamo una classe di molecole artificiali denominate dendrimeri organici. Circa 20 anni fa, Donald A. Tomalia, del Michigan Molecular Institute di Midland, costruì la prima di queste interessanti strutture. Un dendrimero diventa sempre più ramificato dall'interno all'esterno e la sua forma ricorda ciò che si otterrebbe prendendo rametti di un albero e infilzandoli in una sfera di materiale espanso, in modo che puntino in ogni direzione. I dendrimeri sono molecole globulari grandi quanto una tipica proteina, ma non si spezzano né si svolgono facilmente come le proteine perché sono tenuti insieme da legami chimici più forti.

Come le chiome rigogliose degli alberi, i dendrimeri contengono spazi vuoti e quindi possiedono un'enorme superficie interna. È anche interessante il fatto che i dendrimeri possono essere sintetizzati con cavità interne di varie dimensioni: spazi che sono perfetti per contenere agenti terapeutici. Queste molecole possono anche essere ingegnerizzate per trasportare DNA nelle cellule nell'ambito di una terapia genetica, e potrebbero rivelarsi più sicure dell'altro metodo principale: il trasporto mediante virus modificati.

Anche altri tipi di nanostrutture che possiedono una grande area superficiale potrebbero dimostrarsi utili per somministrare farmaci in siti specifici. I dendrimeri offrono però il più alto grado di controllo e flessibilità. Se si riuscisse a progettare dendrimeri che si gonfino spontaneamente liberando il proprio contenuto solo quando fossero presenti le opportune molecole segnale, si potrebbe arrivare a somministrare il farmaco solo nei tessuti o negli organi che hanno bisogno del trattamento.

@

www.cchem.berkeley.edu/~pagrp/
Il sito Web dell'autore.

www.chem.nwu.edu/~mkngrp/dnasubgr.html
Informazioni sull'uso di nanoparticelle d'oro per i test del DNA.

www.ece.rice.edu/~halas/
Informazioni sui nanogusci.

www.qdots.com
Informazioni sui punti quantici e sui loro impieghi in biomedicina.

UN DENDRIMERO ORGANICO, mostrato in questa rappresentazione artistica, può avere all'incirca le dimensioni di una proteina. I dendrimeri contengono molte cavità interne e vengono studiati come possibili vettori per la somministrazione di farmaci.

Jeff Johnson, Hybrid Medical Animation

BIBLIOGRAFIA

CHEMLA Y. R., GROSSMAN H. L., POON Y., McDERMOTT R., STEVENS R., ALPER M. D. e CLARKE J., *Ultrasensitive Magnetic Biosensor for Homogeneous Immunoassay*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 97, n. 27, 19 dicembre 2000.

Altri sistemi di somministrazione di farmaci prospettati per il futuro includono capsule polimeriche cave, attualmente allo studio da parte di Helmuth Möhwald del Max-Planck-Institut per i colloidi e le interfacce di Golm, in Germania. In risposta a determinati segnali, queste capsule si gonfiano o si comprimono per liberare la sostanza contenuta. Altrettanto interessanti sono i nanogusci, recentemente inventati da ricercatori della Rice University.

I nanogusci sono perline di vetro estremamente piccole ricoperte di oro. Possono essere costruite in modo da assorbire luce pressoché di qualsiasi lunghezza d'onda, ma quelle che catturano energia nell'infrarosso vicino sono di particolare interesse, perché queste lunghezze d'onda penetrano facilmente attraverso spessori di vari centimetri di tessuto vivente. I nanogusci inoculati nell'organismo possono quindi essere riscaldati dall'esterno per mezzo di una intensa sorgente infrarossa; in questo modo si potrebbe somministrare un agente farmaceutico in momenti precisi fissandolo a una capsula fatta di un polimero sensibile al calore. La capsula rilascerebbe il proprio contenuto solo quando venisse deformata dal lieve riscaldamento del nanoguscio a essa attaccato.

Un'altra applicazione prevedibile per i nanogusci riguarda le terapie antitumorali. L'idea è quella di fissare alle sfere coperte di oro anticorpi che si leghino specificamente alle cellule tumorali. A questo punto, per distruggere le cellule del tumore basterebbe in teoria riscaldare a sufficienza i nanogusci, che lascerebbero intatti i tessuti sani circostanti.

È, ovviamente, difficile prevedere se i nanogusci manterranno tutte le loro promesse, e la stessa cosa si può dire per la miriade di altri minuscoli dispositivi in fase di sviluppo per applicazioni mediche: fra essi vi sono fullereni del diametro di un nanometro, contenenti solo qualche decina di atomi di carbonio. Tuttavia sembra probabile che almeno alcuni degli oggetti in fase di studio oggi entreranno nella pratica clinica in un prossimo futuro. Ancora più entusiasmante è la prospettiva di fare uso di «mattoni» a scala nanometrica per formare strutture più grandi, imitando in questo modo i processi biologici naturali. Simili materiali potranno un giorno servire per riparare tessuti danneggiati. La ricerca su queste strategie è appena agli inizi, ma almeno un'impresa dimostra già che in questa idea c'è del buono: costruire impalcature su cui far crescere tessuto osseo. Samuel I. Stupp, della Northwestern University, sta studiando questo approccio mediante molecole sintetiche che si combinano in fibre a cui le cellule ossee hanno una forte tendenza ad aderire.

Quali altre meraviglie potrebbe riservare il futuro? Sebbene i mezzi per conseguirli siano tutt'altro che chiari, i nanotecnologi hanno proposto alcuni obiettivi veramente ambiziosi. Una delle «grandi sfide» della National Nanotechnology Initiative è quella di trovare un modo per individuare tumori che abbiano dimensioni di sole poche cellule. I ricercatori sperano anche di escogitare metodi per rigenerare non solo le ossa, la cartilagine o la pelle, ma anche organi più complessi, usando impalcature artificiali in grado di guidare l'attività di cellule opportunamente «seminate» o di dirigere la crescita di una varietà di tipi di cellule. Rimpiazzare cuore, reni o polmoni in questo modo forse non sta alla pari con la tecnologia fantascientifica di *Viaggio allucinante*, ma il pensiero che simili terapie possano rendersi disponibili in un futuro non troppo lontano è davvero entusiasmante.

La violazione diretta di CP

Science photo library/Grazia Neri

Ingrediente indispensabile, ma finora elusivo, della teoria standard delle interazioni fondamentali

di Italo Mannelli

La teoria standard, elaborata sulla base delle ricerche degli ultimi quarant'anni, incorpora, in un'unica grande sintesi, le attuali conoscenze sulle proprietà delle particelle elementari - costituenti la base comune a tutte le forme di materia - e sulle caratteristiche delle loro interazioni. Dallo studio della diffusione di elettroni accelerati ad alta energia e fatti collidere con protoni e neutroni si è constatato che, mentre gli elettroni si comportano essenzialmente come oggetti puntiformi, i protoni e i neutroni hanno dimensioni dell'ordine di 10^{-13} centimetri e appaiono costituiti da quark di due tipi: due quark *u* (per «up») e un *d* («down») il protone; due *d* e un *u* il neutrone. Poiché i quark *u* e *d* sono dotati di carica elettrica pari, rispettivamente, a 2/3 e −1/3 della carica del protone, con un semplice calcolo si ottiene la carica di protone e neutrone come somma algebrica della carica dei loro costituenti. Per poter definire i protoni e i neutroni come costituiti da quark è stato necessario estendere il concetto stesso di oggetto composto. Infatti, per quanto alte siano state le energie degli elettroni incidenti, non è mai stata osservata la disintegrazione di un nucleone (il termine con cui collettivamente si indicano protoni e neutroni) nei suoi quark costituenti. Apparentemente, all'aumentare della distanza fra quark l'energia potenziale della loro interazione cresce, anziché diminuire come avviene per esempio nell'interazione elettrostatica: è proprio tale circostanza a impedire che i quark si separino.

Uno dei fatti che fanno capire quanto feconda sia la teoria standard è che riesce a spiegare la composizione di tutta la materia, comprese le proprietà radioattive, sulla base di un doppietto di componenti leggeri, o leptoni (elettrone e neutrino associato), e di un doppietto di quark (*u* e *d*), con eguale differenza di carica elettrica fra i componenti di uno stesso doppietto.

I primi passi dell'antimateria

Fu Paul A. M. Dirac nel 1928 a riuscire per la prima volta a formulare un'equazione capace di descrivere il comportamento quantistico dell'elettrone in forma relativisticamente invariante. Caratteristica fondamentale di tale equazione era che, in stretta connessione con una qualunque soluzione per valori positivi dell'energia dell'elettrone, ne esisteva una corrispondente per valori negativi dell'energia. Il contrasto con il senso fisico comune, che attribuisce significato solo a stati con energia positiva, fu superato dallo stesso Dirac interpretando le soluzioni con energia negativa come corrispondenti alla descrizione di stati fisici di un «antielettrone», cioè di una particella con carica elettrica e altri numeri quantici caratteristici opposti a quelli dell'elettrone, successivamente chiamata positrone.

Una conseguenza diretta di tale interpretazione è il fatto che elettrone e positrone posti a contatto si annichilano, scomparendo in quanto tali, ma dando luogo alla creazione di due fotoni (raggi gamma) che conservano l'energia totale dell'insieme elettrone-positrone. Anche la reazione inversa deve essere possibile, e in effetti nel 1930 Carl David Anderson osservò il primo esempio dell'interazione di un fotone di alta energia con il campo elettromagnetico di un nucleo, con formazione di una coppia elettrone-positrone.

Science Photo Library/Grazia Neri/G.Piragino

LA CAMERA A VUOTO dell'esperimento NA48 (*a sinistra*) corre per ben 110 metri nei tunnel sotterranei del CERN di Ginevra. Il rivelatore è progettato per registrare i decadimenti di kaoni in coppie o triple di pioni, sia carichi sia neutri, che possano evidenziare una violazione diretta di simmetria *CP*. Nei tubi a *streamer* (*nella pagina a fronte quelli dell'esperimento LEAR del CERN*) si possono visualizzare solo pioni carichi.

La violazione di *CP* in laboratorio

Per comprendere il principio su cui sono basati gli esperimenti è necessario chiarire in che modo si può distinguere, studiando lo sviluppo temporale dei decadimenti dei mesoni K neutri in coppie di pioni, se esiste solo violazione diretta di *CP* nel mescolamento o anche direttamente all'atto del decadimento vero e proprio. Il metodo per determinare il verificarsi della violazione di *CP* si basa sulla misurazione del valore del cosiddetto doppio rapporto:

$$R = \frac{P_L(00)/P_L(+-)}{P_S(00)/P_S(+-)}$$

dove P_L, P_S indicano rispettivamente le probabilità di decadimento per unità di tempo della componente K_L (a lunga vita media) e K_S (a breve vita media), mentre gli indici 00 e +– si riferiscono alla carica elettrica delle coppie di pioni prodotte. Si tratta cioè di misurare possibili differenze fra il rapporto nel numero di decadimenti in coppie di pioni carichi ($\pi^+\pi^-$) rispetto al numero di decadimenti in coppie di pioni neutri ($\pi^0\pi^0$) per eventi dovuti alla componente a breve vita media relativamente all'analogo rapporto per eventi a lunga vita media.

L'esistenza della violazione di *CP* nel mescolamento viene tenuta in conto rappresentando gli stati a vita media definita come sovrapposizioni coerenti degli stati simmetrici K_1 e antisimmetrici K_2 rispetto a *CP* della forma:

$$K_L = K_2 + \varepsilon K_1 \quad K_S = K_1 + \varepsilon K_2$$

con $\varepsilon << 1$.

Quest'ultima disuguaglianza esprime il fatto che stati simmetrici K_1 contribuiscono in minima parte alla componente a vita media lunga, così come stati antisimmetrici K_2 contribuiscono in minima parte alla componente a vita media breve.

Ora, in assenza di violazione diretta di *CP*, le coppie di pioni, sia cariche sia neutre, possono avere origine solo dalla stessa componente K_1, nel caso di eventi sia K_S sia K_L. Ciò significa che il decadimento può avvenire indifferentemente in una coppia di pioni neutri o carichi e che la probabilità relativa di decadimento è la stessa nella componente a vita media breve e in quella a vita media lunga. Di conseguenza, il doppio rapporto sopra definito è necessariamente:

$$R = 1.$$

Nel caso di violazione diretta di *CP*, contribuisce al decadimento in coppie di pioni anche la componente K_2 con un peso dipendente dal parametro ε' e con una probabilità relativa diversa dalla componente K_1 per decadimenti in coppie cariche o neutre. Secondo le previsioni della teoria standard i rapporti delle probabilità si possono scrivere con sufficiente approssimazione come segue:

$$P_L(00)/P_S(00) = (\varepsilon - 2\varepsilon')^2$$

e $$P_L(+-)/P_S(+-) = (\varepsilon + \varepsilon')^2$$

da cui consegue, nell'approssimazione al primo ordine nel rapporto ε'/ε:

$$R = 1 - 6 \times (\varepsilon'/\varepsilon).$$

In conclusione, la deviazione da 1 del doppio rapporto R è direttamente legata alla presenza di violazione diretta di *CP* e il suo valore ne caratterizza l'importanza relativamente alla violazione di *CP* nel mescolamento. Il risultato ottenuto, comprendente dati raccolti al CERN con l'esperimento NA48 tra il 1997 e il 1999, è:

$$\varepsilon'/\varepsilon = (15,3 \pm 2,6) \cdot 10^{-4}$$

dove l'errore include sia l'incertezza puramente statistica sia la stima di quella sistematica.

Un valore nullo per ε'/ε è pertanto escluso a 15,3/2,6 = 5,9 deviazioni standard. Un analogo risultato, compatibile con quello di NA48 e con un'incertezza complessiva del tutto paragonabile, è stato recentemente annunciato dalla collaborazione KTEV del Fermilab.

Con la scoperta di Anderson, da speculazione teorica l'esistenza dell'antimateria assunse la rilevanza di fatto sperimentale. A essa seguì la scoperta dell'antiprotone avvenuta a Berkeley nel 1955. Di conseguenza le teorie successive, non solo per l'elettrone ma per tutte le particelle e le loro interazioni, furono basate sulla simmetria materia-antimateria, altrimenti indicata come operazione di coniugazione di carica, *C*. Essa associa a ogni particella l'antiparticella corrispondente e viceversa.

Tre, non più di tre

Venne poi una scoperta inattesa. Quando, in condizioni cosmiche particolari o in laboratorio, con acceleratori, si verificano collisioni a energie così alte che in termini relativistici corrispondono a masse elevate rispetto a quella del protone, si ha una pluralità di stati con proprietà tali da presupporre l'esistenza di ulteriori famiglie, sia dei doppietti di quark sia dei doppietti di leptoni, già riconosciuti come costituenti la materia in condizioni ordinarie. Le famiglie differiscono fra loro per massa dei costituenti e seguono un preciso schema gerarchico per le loro interazioni.

Uno dei più importanti risultati ottenuti con il LEP - il collisore di elettroni e positroni del CERN di Ginevra - nel decennio appena concluso è che in natura esistano precisamente tre, e non più di tre famiglie di particelle: per la quasi totalità delle particelle prodotte con acceleratori o da interazioni di raggi cosmici è stato stabilito che si tratta o di leptoni o di adroni. Questi ultimi sono composti da tre quark (nucleoni, iperoni e così via) o da coppie quark-antiquark (mesoni). In corrispondenza di ciascuna famiglia di quark e leptoni esiste la famiglia di antiquark e antileptoni costituenti l'antimateria.

Mesoni neutri composti da coppie di quark appartenenti alla stessa famiglia si trasformano in se stessi per coniugazione di carica: mesoni e antimesoni sono fra loro indistinguibili. Ciò non accade con mesoni neutri composti da un quark di una prima famiglia e da un antiquark di una seconda: sotto *C* essi appaiono composti da un antiquark della prima famiglia e un quark della seconda; i due stati sono chiaramente diversi per interazioni che distinguano quark delle diverse famiglie.

Oltre alle proprietà di simmetria per co-

ALICE S'INTERROGA sulle simmetrie della natura osservando in uno specchio alcuni processi. Lo specchio inverte la destra e la sinistra, ovvero trasforma il mondo con l'operazione di parità *P*. Per una coppia particella-antiparticella nulla cambia, ma non è così per un nucleo radioattivo di cobalto 60. Orientato il suo spin verso il basso grazie al campo magnetico generato da una corrente, esso emette elettroni di preferenza verso l'alto. Lo specchio inverte il verso della corrente e quindi dello spin, ma non il verso di emissione. La simmetria sotto *P* è violata: il nucleo nello specchio non esiste nella realtà.

e^- e^- π^+ π^-

Disegni di Tiziana Zanetti

IN PILLOLE

- Per trasformazione *CP* si intende una trasformazione dello spazio costituita dalla composizione di una coniugazione di carica (che associa a ogni particella la sua antiparticella) con una operazione di parità (che associa a un fenomeno lo stesso fenomeno visto allo specchio).
- Fino al 1964, si riteneva che la simmetria rispetto a *CP* fosse una simmetria esatta della natura. Un esperimento effettuato a Brookhaven smentì questa opinione. Esso riguardava il decadimento in pioni di «stati misti» di mesoni K neutri chiamati K_1 e K_2: perché sia conservata la simmetria sotto *CP*, K_1 dovrebbe decadere in due pioni e K_2 in tre. La presenza di decadimenti in coppie di pioni anche quando i mesoni K_1 dovrebbero essere esauriti è interpretata come un violazione di *CP*.
- La violazione di *CP* può essere diretta (con uno stato K_1 che decade in tre pioni) o indiretta (con uno stato K_1 che si trasforma in uno stato K_2 prima di decadere in tre pioni). L'esperimento NA48 del CERN ha dimostrato l'esistenza del primo fenomeno.

STATI MESONICI SIMMETRICI (*in rosso nello schema*) dovrebbero decadere in coppie di pioni, stati antisimmetrici (*in blu*) in triple. In tal caso la simmetria sotto *CP* sarebbe conservata (*a*). Nella violazione indiretta (*b*), stati mesonici simmetrici si trasformano in stati antisimmetrici prima di decadere in due pioni. Nella violazione diretta (*c*), manca il passo intermedio.

Conservazione di *CP*

Violazione *CP* indiretta

Violazione *CP* diretta

niugazione di carica *C*, altre due simmetrie hanno un ruolo importante: l'inversione temporale a livello microscopico e la riflessione spaziale (simmetria destra-sinistra), o parità, indicate rispettivamente con *T* e *P*. A un processo che avviene in un sistema fisico, l'inversione temporale associa lo stesso processo considerato con il tempo che scorre in verso opposto (come in un film visto al contrario), mentre la riflessione spaziale associa il processo visto allo specchio. Applicando due volte di seguito una delle operazioni precedenti il sistema rimane inalterato. In termini matematici, queste si dicono idempotenti, poiché ciascuna di esse, applicata un numero pari di volte, coincide con l'identità.

Un teorema della teoria locale quantistico-relativistica dei campi, alla base della descrizione matematica delle interazioni fondamentali, implica l'invarianza sotto *CPT*, cioè l'applicazione combinata di *C*, *P* e *T*: qualunque descrizione di un processo che avviene in un sistema microscopico ottenuto con le tre successive operazioni corrisponde a un processo effettivamente riscontrabile nella realtà. A tutt'oggi nessun esperimento ha dato risultati in contrasto con il teorema *CPT*.

La natura asimmetrica

Nel 1957 si scoprì che le interazioni deboli, responsabili dei decadimenti radioattivi e alla base della produzione di energia nel Sole, violano l'invarianza sotto *P* e *C* singolarmente. Nonostante ciò, i dati sperimentali facevano pensare che l'operazio-

UNO SPECCHIO *C* trasforma il mondo con l'operazione di coniugazione di carica, scambiando ogni particella con la corrispondente antiparticella. Nello specchio un antinucleo di cobalto 60, orientato da una corrente positiva nello stesso verso, emette positroni verso l'alto. Ma lo spin rimane verso il basso poiché anche il campo magnetico si inverte. La simmetria *C* è violata: l'antinucleo reale emette nello stesso verso dello spin.

ne combinata *CP* - e quindi, a causa del teorema *CPT*, anche la simmetria per inversione temporale *T* - fosse una simmetria esatta della natura. Un esperimento effettuato nel 1964 presso il Brookhaven National Laboratory, negli Stati Uniti, per il quale fu assegnato nel 1980 il premio Nobel a James Cronin e Val Fitch, dimostrò che nell'evoluzione temporale dei mesoni *K* neutri era violata la simmetria rispetto a *CP*.

Il grande interesse suscitato dalla scoperta è aumentato nel tempo, invece che attenuarsi. Ciò è dovuto ad almeno due ragioni principali: la prima, di carattere cosmologico, è connessa con l'apparente assenza nell'universo di antimateria, che ci si aspetterebbe dovesse esistere in quantità paragonabile alla materia di cui è costituito il mondo che possiamo osservare. L'altra è che la teoria standard include la possibilità di incorporare, oltre a tutti gli altri fatti sperimentali noti, anche la violazione della simmetria *CP*, con conseguenze fenomenologiche in linea di principio controllabili sperimentalmente. Nel caso in cui queste non fossero rispettate, il loro studio potrebbe costituire la prima finestra per osservare il panorama oltre i confini della teoria standard stessa.

Effetti piccoli ma importanti

Gli effetti della violazione di *CP* sono quantitativamente piccoli; per rivelarli occorre confrontare stati fisici definiti con i rispettivi trasformati sotto *CP*. Con il grado di precisione sperimentale raggiungibile finora non è stata misurata alcuna differenza né tra stati con carica elettrica non nulla né fra mesoni neutri e i corrispondenti antimesoni composti da quark di famiglie diverse. Solo nel caso dei mesoni *K* neutri, contenenti un quark d e un antiquark $\bar{s}$, si sono evidenziati con certezza effetti dovuti alla violazione di *CP*.

Le trasformazioni si possono estendere anche a combinazioni coerenti di mesoni *K* e anti-*K* ($\bar{K}$), secondo quanto previsto dalla meccanica quantistica. A ogni particella, infatti, è associata una funzione d'onda, e diverse funzioni d'onda possono essere combinate algebricamente per formare stati intermedi tra quelli di partenza. Se lo stato ottenuto applicando al mesone K (d-$\bar{s}$) l'operazione di *CP* è indicato con $\bar{K}$ ($\bar{d}$-s), una combinazione coerente di K e $\bar{K}$, indicata con $K_1 = K + \bar{K}$, si trasforma in se stessa, o in altre parole è simmetrica sotto *CP*. L'altra combinazione, $K_2 = K - \bar{K}$, sotto *CP* si trasforma in se stessa ma con il segno cambiato. È cioè antisimmetrica. In un mondo in cui la simmetria *CP* è conservata, stati simmetrici e antisimmetrici restano tali per la loro evoluzione temporale. Se si tratta di stati instabili, come sono i mesoni - che con una certa vita media si disintegrano in altre particelle - e se del decadimento è responsabile un'interazione anch'essa invariante sotto *CP*, allora lo stato finale deve avere la stessa simmetria *CP* del mesone originale.

Nel caso dei *K* neutri, stati finali contenenti due mesoni π^0 sono simmetrici rispetto a *CP*, mentre stati finali con tre mesoni π^0 sono antisimmetrici. Perciò nel caso di invarianza sotto *CP* lo stato K_1 decadrà in due π^0 e mai in tre, mentre lo stato K_2 decadrà in tre π^0 ma non in due. Poiché la vita media è molto più lunga nel caso dello stato finale con tre mesoni, lo studio dell'andamento temporale dei decadimenti può dare informazioni rilevanti sulla violazione o meno di *CP*.

La violazione indiretta nel mescolamento

Un altro fatto fondamentale è che, nell'evoluzione temporale di *K* neutri, prima del loro eventuale decadimento, si verifica il fenomeno di oscillazione, o mescolamento. Esso consiste in transizioni spontanee fra K e $\bar{K}$, in cui il quark d si trasforma in quark s e l'antiquark $\bar{s}$ in $\bar{d}$. Se queste transizioni sono dovute a un'interazione che rispetta la simmetria *CP*, allora le probabilità di transizione da K a $\bar{K}$ e viceversa devono essere rigorosamente uguali. Tale necessità si può capire tenendo conto che le due transizioni sono l'una il trasformato rispetto a *CP* dell'altra. Supponiamo che la transizione K in $\bar{K}$ sia la più probabile. Nel mondo trasformato rispetto a *CP* la più probabile sarebbe la transizione da $\bar{K}$ a K. In tal caso esisterebbe un modo per distinguere il mondo dal suo trasformato rispetto a *CP*, contrariamente all'ipotesi di simmetria.

Consideriamo ora il decadimento di un mesone *K* neutro in due pioni carichi $\pi^+\pi^-$: per esso valgono le stesse considerazioni fatte per il decadimento nella coppia $\pi^0\pi^0$, poiché entrambe le coppie sono simmetriche rispetto a *CP*. Nell'esperimento di Brookhaven i mesoni *K* neutri furono prodotti facendo interagire protoni di energia pari a 24 GeV con nuclei di berillio e selezionando un fascio di particelle neutre uscenti dalla targhetta mediante opportuni collimatori. L'osservazione cruciale fu che, anche dopo un tempo abbastanza lungo perché fosse esaurita la componente a breve vita media, persisteva una frazione di decadimenti in due mesoni $\pi^+\pi^-$, piccola ma statisticamente significativa rispetto ai decadimenti noti della componente a vita media lunga. Tale frazione era solamente dell'ordine del 2 per mille e ciò spiegava perché non fosse già stata osservata in altre occasioni.

Il risultato dell'esperimento è una convincente prova dell'esistenza in natura della violazione di *CP*. Stabilito ciò, resta da accertare se la violazione di *CP* così osservata occorre nel mescolamento K-$\bar{K}$ oppure è dovuta a un decadimento K_2 direttamente in $\pi^+\pi^-$, o infine alla presenza di entrambi i fenomeni assieme.

IN UNO SPECCHIO *CP*, combinazione dei due precedenti, si restaura la simmetria rispetto alla trasformazione per il nucleo di cobalto 60. Lo stesso vale per i pioni carichi, per il kaone e l'antikaone neutro, ma non per gli stati K_1 e K_2, combinazioni coerenti di mesoni e antimesoni K neutri: le loro funzioni d'onda sono, rispettivamente, simmetrica e antisimmetrica rispetto a *CP*. Fino al 1964, non era nota alcuna violazione di *CP*.

IL CALORIMETRO dell'esperimento NA48 del CERN (*nella foto a destra, il dispositivo mentre viene preparato per essere inserito nel criostato*) sfrutta come mezzo attivo 22 tonnellate di kripton. Una quantità così alta di un elemento raro non è facile da reperire, ma questa difficoltà è stata superata grazie alla collaborazione con l'industria e la ricerca russa, in particolare con il Joint Institute for Nuclear Research (JINR) di Dubna. Nessun altro fornitore avrebbe soddisfatto negli stessi tempi le caratteristiche tecniche richieste.

Cortesia CERN

L'AUTORE

ITALO MANNELLI è professore ordinario di particelle elementari dal 1968. Attualmente è preside della classe di scienze della Scuola normale superiore di Pisa. La sua attività di ricerca riguarda la violazione di *CP* nel decadimento dei mesoni K neutri. Nel 2000 l'Accademia nazionale dei Lincei gli ha attribuito il premio Tartufari per chimica e fisica.

La violazione diretta

Dopo la pubblicazione dei risultati di Brookhaven, Lincoln Wolfenstein, allora all'Università di Chicago, propose un modello secondo il quale la violazione di *CP* è dovuta a una nuova specifica interazione «superdebole» che si può manifestare solo nel mescolamento K-$\bar{K}$. Tale spiegazione è stata generalmente ritenuta insoddisfacente, perché formulata *ad hoc* e senza possibilità di controllo indipendente.

Una svolta dal punto di vista teorico fu nel 1972 l'osservazione di Makoto Kobayashi e Toshihide Maskawa per cui, in presenza di (almeno) tre famiglie di quark, si può introdurre la violazione di *CP* fra le proprietà generali delle interazioni deboli con caratteristiche dipendenti dai coefficienti di una matrice 3 × 3 di parametri di accoppiamento fra quark, i cui valori potevano essere dedotti da opportuni esperimenti. Una volta accertata l'esistenza di esattamente tre famiglie di quark lo schema di Kobayashi e Maskawa è divenuto parte integrante della teoria standard. Mentre il modello superdebole prevedeva violazione di *CP* solo nel mescolamento, secondo la teoria standard ci si deve aspettare che essa si manifesti sia nel mescolamento sia nel permettere il decadimento di K_2 in due pioni. Questo secondo effetto si chiama violazione diretta di *CP*.

Nella teoria standard il calcolo della grandezza relativa della violazione diretta di *CP* rispetto a quella agente nel mescolamento presenta serie difficoltà, e anche i recenti risultati hanno margini di incertezza dell'ordine del 50 per cento. Il rapporto ε'/ε fra violazione diretta e di mescolamento è previsto fra l'1 e il 3 per mille, dove ε, pari al 2,2 per mille, è il rapporto fra la parte che viola e quella che conserva *CP* nel mescolamento. Come detto, per il modello superdebole ε' deve essere zero, mentre nella teoria standard un suo valore nullo rappresenterebbe il risultato di un'accidentale cancellazione, o più probabilmente la prova dell'inadeguatezza della teoria a descrivere questa nuova categoria di fenomeni. L'aspettativa, confermata da alcuni primi tentativi di misura, che comunque ε' abbia un valore di solo qualche parte per milione, fa capire come sia stato difficile dimostrare sperimentalmente l'esistenza della violazione diretta di *CP*.

Gli ultimi risultati

L'importanza della posta in gioco ha stimolato la progettazione e l'esecuzione di esperimenti - uno dei quali al CERN di Ginevra, identificato con la sigla NA48, e un altro al FermiLab di Chicago, con la sigla KTEV - i cui risultati, se pur non ancora definitivi, sono stati presentati al congresso internazionale «KAON2001», svoltosi a Pisa lo scorso giugno. La precisione raggiunta è tale da dimostrare l'esistenza della violazione diretta di *CP* e determinarne l'ordine di grandezza, compatibile con la stima basata sulla teoria standard. Verificata sperimentalmente una condizione necessaria perché tale teoria possa descrivere anche la fisica della violazione di *CP*, è del tutto plausibile l'ipotesi che si tratti di una proprietà generale delle interazioni deboli piuttosto che della manifestazione di un'ulteriore interazione.

Poiché la teoria standard fa previsioni assai precise per altri eventi che stanno diventando accessibili alla sperimentazione, presto saranno possibili ulteriori controlli della sua validità. Inoltre precedenti esperimenti, dedicati allo studio di altri aspetti dell'evoluzione temporale dei decadimenti in coppie di pioni carichi e neutri, hanno dimostrato che, pur in presenza di violazione di *CP*, è rispettata l'invarianza sotto *CPT*. Valendo la simmetria rispetto a *CPT* e non rispetto a *CP*, cade anche la simmetria rispetto all'operazione *T*. Cioè i trasformati rispetto all'inversione temporale dei processi di decadimento non corrispondono a processi reali. In altre parole, nel mescolamento e nel decadimento dei mesoni *K* neutri il tempo ha una freccia definita: il passato è distinto dal futuro anche a livello microscopico e non solo, come si credeva fino a poco tempo fa, a livello statistico-termodinamico.

Violazione di *CP* e cosmologia

Un commento a parte meritano gli aspetti cosmologici. L'asimmetria apparente fra materia e antimateria e il rapporto fra radiazione e materia richiedono che, almeno in situazioni di rapida espansione fuori dall'equilibrio termodinamico, sia entrata in gioco la violazione di *CP*. Questo deve essere accaduto in parallelo a fenomeni di transizione diretta quark-antiquark che finora non sono stati osservati e che si suppone non avvengano nella fisica descritta dalla teoria standard. In altre parole, anche se la violazione di *CP* è un ingrediente indispensabile per la cosmologia, non appare plausibile che sia sufficiente nella forma finora evidenziata in laboratorio studiando la fisica dei mesoni *K* neutri. Forse la chiave sta nei leptoni, piuttosto che nei soli quark, settore finora del tutto inesplorato.

BIBLIOGRAFIA

MAIANI LUCIANO (a cura), *Campi, forze e particelle,* Le Scienze S.p.A., 1991.

MAIANI LUCIANO (a cura), *La fisica delle particelle,* «Le Scienze quaderni» n. 103, febbraio 1998.

QUINN HELEN R. e WITHERELL MICHAEL S., *L'asimmetria tra materia e antimateria,* in «Le Scienze» n. 366, febbraio 1999.

LLEWELLYN SMITH CHRIS, *Il Large Hadron Collider,* in «Le Scienze» n. 385, settembre 2000.

La nuova grande ESTINZIONE

Gli allarmi degli ecologisti su un'estinzione di massa attualmente in corso sono contestati dagli scettici e in gran parte ignorati dai politici: ciò avviene perché è molto difficile valutare le dimensioni del problema e capire come sia possibile risolverlo

di W. Wayt Gibbs
redazione di «Scientific American»

LA MORTE DI UN ORANGUTAN colpisce l'attenzione e sembra confermare le peggiori paure sul declino della biodiversità. Ma l'attenzione rivolta alle specie animali più «carismatiche» potrebbe falsare in qualche modo la nostra percezione del quadro generale. La scimmia nella fotografia è morta per cause naturali. E così è anche per la massima parte del retaggio evolutivo del nostro pianeta.

Cheryl D. Knott

Hilo, Hawaii. Tra gli scienziati qui riuniti ad agosto per il congresso annuale della Society for Conservation Biology, lo sconforto era quasi palpabile. «Sono contento di ritirarmi fra poco, perché così non andrò più in giro a vedere scomparire tutto quanto» diceva P. Dee Boersma, ex presidente della società, durante la cena di apertura. Altri biologi anziani, attorno al tavolo, annuivano tristemente. Il mattino seguente, Robert M. May, zoologo dell'Università di Oxford che presiede la Royal Society e che fino allo scorso anno era il principale consulente scientifico del Governo britannico, ha fatto del suo meglio, nella propria allocuzione, per spazzare via gli ultimi residui di ottimismo dal proprio uditorio. Secondo la sua ultima stima di massima, il tasso di estinzione, ovvero la rapidità con cui le specie spariscono, è aumentato negli ultimi 100 anni fino a un valore circa 1000 volte superiore a quello precedente la comparsa dell'uomo. E vari elementi inducono a prevedere «un'accelerazione di un ulteriore fattore 10 nel corso dei prossimi 100 anni€ il che ci porrebbe sull'orlo della sesta grande ondata di estinzioni della storia del pianeta». Da qui in poi, la conferenza di May si è fatta via via più deprimente. I biologi e i conservazionisti - egli lamentava - sono affetti da uno «sciovinismo nei confronti dei vertebrati».

La loro predilezione per mammiferi, uccelli e pesci - mentre la maggior parte della diversità delle forme di vita è altrove - compromette la possibilità di prevedere in modo adeguato le conseguenze della perdita di biodiversità. Ciò solleva anche inquietanti questioni sui «punti caldi» che i gruppi ambientalisti si affannano a individuare e proteggere.

«In definitiva dobbiamo chiederci perché ci preoccupiamo del patrimonio di specie del pianeta e della sua riduzione» sosteneva May. «Questa domanda centrale è una questione politica e sociale di scelta di valori, nel cui ambito la voce degli scienziati conservazionisti non ha un particolare rilievo.» Purtroppo, «di tutte le argomentazioni che di solito usiamo per persuadere i politici ... nessuna alla fin fine è veramente convincente».

Anche se May dipinge un quadro davvero terrificante, il suo punto di vista è comune in un campo in cui i best seller recano titoli del tipo *Requiem per la natura*. Ma è giustificata questa disperazione? Secondo *The Skeptical Environmentalist* dello statistico danese Bjorn Lomborg, le cifre sulla fine della biodiversità sarebbero state enormemente gonfiate. Messi di fronte allo scetticismo esterno, all'incertezza interna e all'apatia del pubblico, alcuni scienziati iniziano a contestare l'enfasi posta da taluni gruppi ambientalisti sulla conservazione di specie rare e di nicchie ecologiche minacciate. Forse, essi propongono, dovremmo focalizzare l'attenzione sul salvataggio di qualcosa di ugualmente a rischio ma di ancora più prezioso: l'evoluzione stessa.

IN PILLOLE

- Eminenti ecologi avvertono che gli esseri umani stanno causando un evento di estinzione di massa di gravità paragonabile a quello che vide l'estinzione dei dinosauri (avvenuta circa 65 milioni di anni fa). Ma alcuni paleontologi e statistici hanno messo in dubbio queste affermazioni.
- È assai difficile appurare quante siano le specie che stanno scomparendo. Modelli basati sulla rapidità della deforestazione ai tropici o su elenchi in continuo aggiornamento delle specie minacciate lasciano prevedere tassi di estinzione in aumento. Ma l'attenzione dei biologi è particolarmente attratta da piante superiori e vertebrati, che costituiscono una minoranza delle forme viventi, e ciò inficia la validità delle previsioni: dal momento che il 90 per cento delle specie non ha ancora neppure un nome, è impossibile verificarne le condizioni.
- Di fronte all'incertezza sul declino della biodiversità e sulla possibilità di attribuirle un valore economico, gli scienziati stanno dibattendo se le specie rare debbano davvero essere al centro degli sforzi di conservazione. Forse - propongono alcuni - dovremmo invece salvare estensioni di territorio in cui l'evoluzione naturale possa proseguire al riparo dalle attività umane.

Siamo alla vigilia del cataclisma?

L'affermazione di May, secondo cui gli esseri umani starebbero causando un'estinzione di massa ancora più imponente di quella che portò alla scomparsa dei dinosauri 65 milioni di anni fa, potrebbe sconcertare coloro che non hanno seguito il problema della biodiversità, ma certamente non ha provocato alcun sussulto tra i biologi conservazionisti, i quali sono abituati a sentire variazioni su questo tema almeno fin dal 1979, anno di pubblicazione di *The Sinking Ark*, di Norman Myers. In questo libro si valutava che ogni anno scomparisse l'ultimo rappresentante di 40 000 specie, e che entro il 2000 un milione sarebbero state estinte. Negli anni ottanta Thomas Lovejoy predisse anch'egli che entro il 2000 si sarebbe estinto il 15-20 per cento delle specie; Paul Ehrlich arrivava addirittura al 50 per cento. «Ho la ragionevole certezza che questo [la perdita di un quinto delle specie] non sia accaduto» dice Kirk O. Winemiller, biologo ittico della Texas A&M University, che ha appena terminato una ricognizione completa della letteratura scientifica sui tassi di estinzione.

Le proiezioni più recenti indicano una riduzione un poco più lenta, dato che alcune specie in via di estinzione hanno resistito più a lungo di quanto si prevedesse. Di fatto, alcune specie sono perfino ritornate dalla tomba, per così dire. «Si è scoperto quest'estate che il microto bavarese - mammifero eurasiatico presunto estinto fin dal Cinquecento - è ancora fra noi» dice Ross D. E. MacPhee, curatore di zoologia dei mammiferi all'American Museum of Natural History (AMNH) di New York. Tuttavia, nell'edizione del 1999 del suo *Diversità della vita*, il biologo E. O. Wilson della Harvard University cita recenti stime secondo cui ogni decennio si estinguerebbe dall'1 al 10 per cento delle specie: almeno 27 000 all'anno. Michael J. Novacek, dell'AMNH, ha scritto in un articolo della scorsa primavera che «per quanto riguarda le specie estinte, cifre vicine al 30 per cento per la metà del XXI secolo non sono irrealistiche». E in un sondaggio condotto nel 1998 tra i biologi, il 70 per cento ha risposto di ritenere che un'estinzione di massa sia effettivamente in corso; un terzo si aspetta che il 20-50 per cento delle specie si estingua entro 30 anni.

«Anche se simili affermazioni vengono ripetute un po' ovunque, esse non corrispondono alle prove reali» sostiene Lomborg. Professore di statistica all'Università di Århus, egli asserisce che gli ambientalisti hanno ignorato recenti prove del fatto che la deforestazione tropicale non abbia reclamato il tributo che si temeva. «Nessun gruppo di animali ben studiato mostra un andamento di diminuzione compatibile con tassi di estinzione così

Il passato delle estinzioni di massa. E il presente?

FINE ORDOVICIANO
Durata: **10 milioni di anni**
Generi marini estinti (osservati): **60%**
Specie marine estinte (calcolate): **85%**
Causa presunta: forti fluttuazioni del livello del mare

TARDO DEVONIANO
Durata: **meno di 3 milioni di anni**
Generi marini estinti (osservati): **57%**
Specie marine estinte (calcolate): **83%**
Causa presunta: impatto; raffreddamento globale; perdita di ossigeno negli oceani

FINE PERMIANO
Durata: **ignota**
Generi marini estinti (osservati): **82%**
Specie marine estinte (calcolate): **95%**
Causa presunta: forti fluttuazioni del clima o del livello dei mari; impatti di comete e asteroidi; intensa attività vulcanica

FINE TRIASSICO
Durata: **3-4 milioni di anni**
Generi marini estinti (osservati): **53%**
Specie marine estinte (calcolate): **80%**
Causa presunta: intenso vulcanismo; riscaldamento globale

FINE CRETACEO
Durata: **meno di un milione di anni**
Generi marini estinti (osservati): **47%**
Specie marine estinte (calcolate): **76%**
Causa presunta: impatto, intenso vulcanismo

Placoderma

Trilobite

Tetracorallo

Denti di fitosauro

Mosasauro

Milioni di anni fa

570 | 510 | 439 | 409 | 363 | 290 | 248 | 210 | 146 | 65 | 1,64

Cambriano | Ordoviciano | Siluriano | Devoniano | Carbonifero | Permiano | Triassico | Giurassico | Cretaceo | Terziario | Quaternario

Con oltre 1100 specie che si presume siano scomparse negli ultimi 500 anni, gli ecologi temono che un sesto evento di estinzione di massa sia imminente. La scomparsa di specie avvenuta finora, comunque, non segnalerebbe probabilmente nulla di insolito a ipotetici paleontologi del futuro che studiassero la nostra epoca.

SPECIE	AVVISTATA PER L'ULTIMA VOLTA	CAUSE DI ESTINZIONE
Coregonus johannae (pesce)	1952, Laghi Huron e Michigan	Pesca intensiva, ibridazione
Cyprinodon ceciliae (pesce)	1988, Ojo de Agua La Presa, Messico	Mancanza di fonti di cibo
Dobsonia chapmani (chirottero)	1970, Isole Cebu, Filippine	Distruzione della foresta, caccia
Monachus tropicalis (pinnipede)	1950, Mar dei Caraibi	Caccia, molestie
Myiagra freycineti (uccello)	1983, Guam	Predazione da parte di serpenti non autoctoni
Moho braccatus (uccello)	1987, Isola di Kaua'i, Hawaii	Malattia, predazione dei ratti
Glaucopsyche xerces (lepidottero)	1941, Penisola di San Francisco	Trasformazioni del territorio
Hydropsyche tobiasi (dittero)	1950, Fiume Reno (Germania)	Inquinamento industriale e urbano

FONTI: Committee on Recently Extinct Organisms; BirdLife International; Xerces Society; World Wildlife Fund

Lester V. Bergman/Corbis (*trilobite*); James L. Amos/Corbis (*placoderma*); Richard Paselk/Humboldt State University/Natural History Museum (*corallo e denti di fitosauro*); Mike Everhart/Oceans of Kansas Paleontology (*mosasauro*)

esagerati» aggiunge MacPhee. I migliori modelli, secondo Lomborg, prevedono un tasso di estinzione dello 0,15 per cento delle specie per decennio: «Non una catastrofe, ma comunque un problema: uno dei molti che l'umanità deve ancora risolvere».

...o in realtà non sappiamo un bel niente?

«È un arduo problema fornire cifre» ammette Wilson. May concorda, ma dice che «questo non è un buon motivo per non porsi il problema» se un evento di estinzione di massa stia incombendo oppure no. Per rispondere a questa domanda, dobbiamo conoscere tre cose: il tasso di estinzione naturale, il tasso complessivo e, infine, se la velocità di estinzione sia stabile oppure soggetta a cambiamenti. Il primo passo, spiega Wilson, implica la determinazione della durata media di vita di una specie, e ciò viene fatto studiando la documentazione fossile. «Il tasso di estinzione naturale è l'inverso di questa durata media. Se le specie hanno origine in modo casuale e vivono più o meno un milione di anni, ciò significa che ogni anno una specie su un milione andrà naturalmente soggetta all'estinzione» dice Wilson.

In un articolo del 1995 che viene ancora citato in quasi ogni lavoro su questo argomento (perfino nel libro di Lomborg), May usava un metodo simile per calcolare il tasso di estinzione naturale, basandosi su stime che valutavano la durata media di vita delle specie tra cinque e 10 milioni di anni. Pertanto, il tasso di estinzione naturale sarebbe stato da cinque a 10 volte inferiore a quello proposto da Wilson. Ma secondo il paleontologo David M. Raup, che aveva pubblicato alcuni dei dati su cui May e Wilson si erano basati, i loro calcoli sarebbero seriamente inficiati da tre falsi presupposti. Uno di essi è che le specie di piante, mammiferi, insetti, invertebrati marini e altri gruppi abbiano tutte una durata pressappoco uguale. Di fatto, il tipico tempo di sopravvivenza sembra variare tra i diversi gruppi di un fattore 10 o più, e le specie di mammiferi sono tra le meno longeve.

In secondo luogo, si assume che tutti gli organismi abbiano la stessa possibilità di essere rappresentati nella documentazione fossile. Ma i paleontologi valutano che meno del 4 per cento delle specie mai vissute sia rimasto rappresentato nei fossili. «E le specie che noi vediamo sono quelle più ampiamente diffuse, vale a dire quelle di maggiore successo» dice Raup. «Le specie deboli, confinate alla sommità di qualche altura o in qualche isola, sono andate tutte in estinzione senza avere la possibilità di

L'inventario delle forme viventi

Quanto è grave la crisi di estinzione? La risposta dipende dal numero complessivo di specie che popolano la Terra. Quanto maggiore è questo numero, tante più sono le specie che si dovrebbero estinguere per cause naturali ogni anno. Ma per quanto le linee generali dell'albero delle forme viventi siano chiare, non è noto quanti siano i ramoscelli che si dipartono dall'estremità di ogni ramo. Quando si va nel dominio dei virus, dei protisti, dei batteri e degli archeobatteri (un intero regno di forme unicellulari scoperto appena qualche decennio fa), i microbiologi hanno solo vaghe idee sul numero di diramazioni.

Uccelli, pesci, mammiferi e piante sono le eccezioni. Valutando l'attività dei circa 5000 tassonomisti di professione al mondo, lo zoologo Robert M. May dell'Università di Oxford ha notato che un numero quasi pari di essi si dedica allo studio di vertebrati, di piante e di invertebrati. «Qualcuno potrebbe pensare che questa scelta rifletta una qualche valutazione ragionata su che cosa sia veramente importante» egli dice. «Il mio punto di vista è: tutte fesserie. Che si sia interessati agli ecosistemi, al loro attuale funzionamento o a prevedere in che modo reagiranno al cambiamento climatico, si impara molto di più osservando i microrganismi del suolo anziché i vertebrati.»

Per tutti i gruppi, con l'eccezione degli uccelli, dice Peter Hammond del Natural History Museum di Londra, si stanno scoprendo nuove specie più rapidamente di quanto non sia mai accaduto, grazie a numerosi nuovi progetti internazionali. Un inventario della biodiversità in tutti i taxa, attualmente in corso nel Great Smoky Mountains National Park (North Carolina e Tennessee), ha portato alla scoperta di 115 specie (per l'80 per cento insetti e aracnidi) nei primi 18 mesi di lavoro. Lo scorso anno 40 scienziati hanno costituito l'All Species Project, una società dedicata allo scopo (probabilmente utopico) di catalogare ogni specie vivente entro i prossimi 25 anni. Altri progetti, come il Global Biodiversity Information Facility and Species 2000, stanno costruendo database in Internet che includeranno conoscenze attualmente disperse tra musei e università di tutto il mondo.

LA PIRAMIDE DELLA DIVERSITÀ

In prima approssimazione, tutte le specie pluricellulari sono insetti. Ma i biologi sanno pochissimo sulla reale diversità e importanza ecologica dei gruppi maggiormente diffusi.

Fonti: *Encyclopedia of Biodiversity*, a cura di S. A. Levin; *Biodiversity Hotspots for Conservation Priorities*, di N. Myers e altri, in «Nature», 403, pp. 853-858, 24 febbraio 2000; William Eschemeyer (specie di pesci); Marc Van Regenmortel (specie di virus); IUCN Red List 2000

INSETTI
TOTALE DELLE SPECIE (STIMA MIGLIORE): **8 750 000**
SPECIE CATALOGATE: **1 025 000**

FUNGHI
1 500 000
72 000

BATTERI E ARCHEOBATTERI
1 000 000
4000

ALGHE
400 000
40 000

NEMATODI E VERMI
400 000
25 000

VIRUS
400 000
1550

PIANTE
320 000
270 000

ALTRE FORME DI VITA
250 000
110 000

MOLLUSCHI
200 000
70 000

PROTOZOI
200 000
40 000

CROSTACEI
150 000
43 000

PESCI
35 000
26 959

UCCELLI
9881
9700

RETTILI
7828
7150

MAMMIFERI
4809
4650

ANFIBI
4780
4780

Sara Chen

fossilizzarsi» aggiunge John Alroy dell'Università della California a Santa Barbara.

Il terzo problema è che May e Wilson usano una durata di vita media, laddove dovrebbero utilizzare una mediana. Dato che «la grande maggioranza delle specie ha vita breve - dice Raup - la media viene distorta dalle poche specie che hanno durata molto lunga». Tutte e tre le semplificazioni portano a una sottostima del tasso di estinzione naturale, e quindi fanno apparire in confronto il tasso attuale come più spaventoso del dovuto.

All'inizio del 2001 la biomatematica Helen M. Regan e diversi suoi colleghi hanno tentato di correggere queste distorsioni prendendo in considerazione i mammiferi, il gruppo più studiato. Hanno valutato quanti mammiferi ora viventi, e quanti di quellida poco estinti, potrebbero comparire tra i fossili. Hanno anche quantificato l'incertezza su ogni stima, anziché basarsi sulle stime più plausibili. Alla fine, hanno concluso che «l'attuale tasso di estinzione dei mammiferi è da 17 a 377 volte maggiore del tasso di estinzione naturale». La stima migliore indicherebbe un incremento compreso tra le 36 e le 78 volte.

Il metodo della Regan è ancora imperfetto. Confrontare gli ultimi 400 anni con i 65 milioni di anni precedenti equivale a sostenere, come dice la stessa studiosa, «che gli attuali tassi di estinzione perdureranno per milioni di anni». Alroy ha proposto recentemente un metodo per misurare le velocità di estinzione che non risente di questo presupposto. Negli ultimi 200 anni, egli valuta, il tasso di diminuzione del numero di specie di mammiferi è stato circa 120 volte più alto del naturale.

brati senza dubbio estinti spesso non sono registrati: quando la colomba migratrice si estinse nel 1914, portò con sé due specie di parassiti che ancora non figurano negli elenchi IUCN.

«È estremamente difficile osservare un'estinzione: è come assistere a un incidente aereo» dice Wilson. Non che gli scienziati non ci stiano provando. Gli articoli sull'«olocausto biotico», come lo chiama Myers, di solito affermano che la grande maggioranza delle estinzioni sta avvenendo nella fascia tropicale delle Americhe. I pesci di acqua dolce sono particolarmente vulnerabili: oltre un quarto delle loro specie è classificato a rischio. «Io lavoro in Venezuela, dove vivono più pesci di acqua dolce che in tutto il Nord America. Dopo 30 anni di sforzi, abbiamo fatto un lavoro ragionevole di catalogazione della diversità ittica in questa regione - osserva Winemiller - e ancora non possiamo documentare per certo un solo caso di estinzione.»

Una situazione simile emerge per altri gruppi di organismi, come sostiene lo stesso Winemiller: «Se si cercano prove sicure della scomparsa di decine, o centinaia o migliaia di specie ogni anno, certamente non si troveranno. Forse il database è spaventosamente inadeguato, ma non si può comunque escludere la possibilità che non sia in corso quel disastro che tutti temono».

La logica della perdita

Gli scenari del disastro si basano su molte linee indipendenti di evidenza che sembrano indicare tassi di estinzione rapidi e in costante aumento. Le prove più ampiamente accettate sono quelle che riguardano la relazione fra specie e area. «Parlando in generale, se l'estensione di un habitat diminuisce, il numero di specie che vi vivono decresce proporzionalmente tra la radice cubica e la radice sesta» spiega Wilson, che per primo ha ricavato l'equazione oltre 30 anni fa. «Un valore intermedio potrebbe essere la radice quarta, il che significa che quando si distrugge il 90 per cento di un habitat, il numero di specie si dimezza.»

«Da questa prima stima grossolana, e dal tasso di distruzione della foresta tropicale, che è di circa l'1 per cento all'anno - continua Wilson - possiamo prevedere che circa un quarto dell'1 per cento delle specie si stia estinguendo in questo momento o sia destinata all'estinzione nel brevissimo termine.» Considerando un pool di una decina di milioni di specie, dovremmo pertanto aspettarci che circa 25 000 scompaiano annualmente.

Lomborg, però, contesta queste affermazioni su tre basi. Le relazioni tra specie e area sono state ricavate confrontando il numero di specie su isole, e non si applicano necessariamente ad habitat frammentati su continenti. «Oltre la metà delle specie di uccelli originarie del Costa Rica si trova in habitat rurali in gran parte deforestati, assieme a percentuali simili di mammiferi e farfalle» ha notato recentemente su «Nature» Gretchen Daily, biologa della Stanford University. Anche se questi animali non potranno evidentemente prosperare, buona parte delle specie di foresta può sopravvivere nell'ambiente agricolo e nelle macchie boscose residue. Per quanto tempo ancora, nessuno lo sa.

Ciò aiuterebbe a spiegare la seconda osservazione di Lomborg, relativa al fatto che sia negli Stati Uniti orientali, sia a Puerto Rico, la distruzione del 98 per cento della foresta primaria non abbia spazzato via la metà delle specie di uccelli. Quat-

«Se si cercano prove sicure della **scomparsa di decine o centinaia o migliaia di specie ogni anno,** certamente non si troveranno.» Kirk O. Winemiller, Texas A&M

Il gioco delle valutazioni incrociate

I tentativi di quantificare il tasso attuale di estinzione vanno soggetti a incertezze ancora maggiori. L'organizzazione conservazionista internazionale IUCN redige «Liste rosse» di organismi ritenuti estinti in natura. Ma MacPhee lamenta che «la metodologia IUCN per il riconoscimento dell'estinzione non è abbastanza rigorosa per essere riconosciuta come affidabile». Egli e altri esperti di estinzione hanno costituito un «Comitato sugli organismi recentemente estinti», che ha rivisto le Liste rosse per identificare quelle specie che erano evidentemente uniche e che non sono state trovate dopo ricerche ragionevoli. Il comitato ha certificato come effettivamente estinte 60 delle 87 specie di mammiferi elencate dalla IUCN, ma solo 33 delle 92 specie di pesci di acqua dolce presunte estinte dalla IUCN lo sarebbero per davvero.

Per ogni specie ritenuta scomparsa per errore, ve ne potrebbero essere però centinaia o migliaia che svaniscono senza che la scienza ne sappia nulla. «Abbiamo un'incertezza di un fattore 10 su quante siano le specie con le quali condividiamo questo pianeta» sottolinea May. «La mia stima sarebbe approssimativamente di 7 milioni, ma le stime plausibili variano comunque da 5 a 15 milioni, escludendo i microrganismi.»

I tassonomisti hanno dato un nome a circa 1,8 milioni di specie, ma non si sa quasi nulla sulla maggior parte di esse, specialmente per quanto riguarda insetti, nematodi e crostacei (la parte preponderante del regno animale). Circa il 40 per cento delle 400 000 specie conosciute di coleotteri è stato individuato solo in una località, e senza conoscere l'areale di distribuzione di una specie non vi è modo di appurarne l'estinzione. Anche inverte-

tro secoli di abbattimento di alberi hanno avuto come esito la scomparsa di un solo uccello di foresta, sui 200 degli Stati Uniti, e di sette fra le 60 specie originarie di Puerto Rico.

Queste critiche fraintendono la teoria specie-area, secondo Stuart L. Pimm, della Columbia University. «La distruzione di habitat agisce in maniera estremamente selettiva» ha dichiarato Pimm lo scorso anno su «Nature». «Le specie che si trovano esclusivamente nell'area presa di mira vengono eliminate. Quelle che si trovano anche altrove, invece, si salvano.»

Dei 200 tipi di uccelli delle foreste degli Stati Uniti orientali, afferma Pimm, tutti tranne 28 vivevano anche altrove. Inoltre la foresta è stata abbattuta con molta gradualità, e gradualmente ha avuto anche la possibilità di ricrescere nelle zone agricole in abbandono. Così, anche al suo minimo, attorno al 1872, l'area forestata copriva quasi la metà dell'estensione della foresta originaria. La teoria specie-area prevede che un 50 per cento di riduzione dell'estensione provochi la scomparsa del 16 per cento delle specie endemiche: in questo caso, quattro specie di uccelli. E quattro specie, in effetti, si sono estinte. Lomborg dal canto suo toglie dal novero una di queste quattro, in quanto si sarebbe trattato di una sottospecie, e altre due, che sarebbero scomparse per cause estranee alla deforestazione.

Ma anche se l'equazione specie-area fosse valida, risponde Lomborg, le statistiche ufficiali suggeriscono che la deforestazione stia rallentando e che attualmente sia ben al di sotto dell'1 per cento annuo. La FAO ha stimato di recente che dal 1990 al 2000 la copertura forestale si sia ridotta in tutto il mondo a un tasso medio annuo dello 0,2 per cento (11,5 milioni di ettari in totale, meno 2,5 milioni di ettari di nuova crescita).

La perdita annua di foresta era intorno a un mezzo punto percentuale nella maggior parte dei paesi tropicali, dove vive la grande maggioranza delle specie rare e minacciate. Di conseguenza, per quanto «le previsioni possano fornire cifre esagerate, forse anche per il desiderio di ottenere una maggiore risonanza, il problema rimane: è solo questione di scala di tempo» replica Carlos A. Peres, un ecologo brasiliano della University of East Anglia, in Inghilterra.

«Paradossalmente è più facile persuadere un industriale **o un miliardario dell'importanza del problema** che non convincere il pubblico americano.» **Edward O. Wilson, Harvard University**

Un futuro incerto

Gli ecologi hanno cercato altri mezzi per fare previsioni sui futuri tassi di estinzione. May e i suoi collaboratori hanno osservato come le specie di vertebrati abbiano cambiato posizione nelle categorie minacciate del database IUCN in un periodo di quattro anni (due anni per le piante); poi hanno proiettato questi piccolissimi numeri nel futuro e hanno concluso che i tassi di estinzione aumenteranno da 12 a 55 volte nei prossimi 300 anni. Georgina M. Mace, direttore della Zoological Society di Londra, è giunta a una conclusione simile combinando modelli sulla sopravvivenza di alcune specie ben conosciute. L'entomologo Nigel E. Stork, del Natural History Museum di Londra, ha riscontrato che un uccello inglese è 10 volte più a rischio di un insetto inglese. Successivamente, ha estrapolato questo rapporto al resto del mondo, così da prevedere da 100 000 a 500 000 estinzioni di insetti entro il 2300. Lomborg approva quest'ultimo modello, dal quale conclude che «il tasso per tutti gli animali rimarrà al di sotto dello 0,208 per cento per decennio, e probabilmente sarà al di sotto dello 0,7 per cento per 50 anni».

Ci vuole un atto di coraggioda parte di qualunque scienziato per formulare proiezioni così vaste e a lungo termine su una così esigua base di dati. Specialmente nel momento in cui - stando a quanto afferma May - è probabile che i dati sulle specie in pericolo riflettano più gli interessi particolari dei tassonomisti che i reali cambiamenti nella consistenza numerica delle singole specie.

I biologi hanno alcune buone ragioni teoriche per temere che, anche se l'estinzione di massa non fosse ancora iniziata, il collasso sia comunque imminente. Alla conferenza di Hilo, Kevin Higgins dell'Università dell'Oregon ha presentato un modello computerizzato che segue gli organismi artificiali di una popolazione, simulando i loro tassi di mutazione genetica, il loro comportamento riproduttivo e le loro interazioni ecologiche. Egli ha riscontrato che «in piccole popolazioni le mutazioni tendono a essere così esigue da sfuggire alle maglie della selezione naturale. Ciò abbrevia in modo drastico il tempo che manca all'estinzione». Così, dal momento che gli habitat si restringono e le popolazioni vengono spazzate via - al tasso di forse 16 milioni all'anno, come ha stimato Daily - «questa potrebbe essere una bomba a orologeria: un evento di estinzione che sta avvenendo quasi di nascosto» avverte Higgins. Ma provare che questa bomba sia già innescata non sarà cosa facile.

Che cosa accadrà alle piante del genere *Ficus*, il più diffuso ai tropici, se andrà perduta l'unica varietà di vespe che impollina ognuna delle sue 900 specie? O al 79 per cento degli alberi della foresta pluviale di Samoa se i cacciatori uccideranno tutte le volpi volanti da cui dipendono? Parte del motivo per cui tanti conservazionisti sono così atterriti è che essi si aspettano che interi ecosistemi crollino, una volta che vengano rimosse alcune specie fondamentali per la loro sopravvivenza.

Altri non prestano credito a questa metafora. «Alcuni studi recenti sembrano mostrare l'esistenza di una certa ridondanza negli ecosistemi» dice Melodie A. McGeoch, dell'Università di Pretoria, in Sudafrica. Tuttavia, non è detto che ciò che è ridondante oggi possa esserlo anche domani. «In realtà non ha molto senso pensare che la maggioranza delle specie possa sparire sotto pressioni marginalmente più alte di quanto si avrebbe se gli esseri umani non fossero sulla scena» aggiunge MacPhee. «L'evoluzione dovrebbe averle rese resistenti.»

Se non lo fa la selezione naturale, potrebbe farlo quella artificiale, secondo lavori di Werner Greuter, della Università Libera di Berlino, Thomas M. Brooks, della Conservation International, e altri. Greuter ha confrontato il tasso delle recenti estinzioni di specie vegetali in quattro regioni ecologicamente simili, e ha scoperto che l'area antropizzata da più lungo tempo e più perturbata, vale a dire il Mediterraneo, aveva quelli più basso. I tassi di estinzione delle piante risultavano più alti in California e Sudafrica e raggiungevano il massimo in Australia occidentale. La soluzione a questo paradosso apparente, essi propongono, è che le specie che non possono coesistere con l'uso agricolo del territorio tendono a scomparire subito dopo gli esordi dell'agricoltura. Le specie che sopravvivono a questo primo impatto sono meglio attrezzate per respingere gli attacchi che lanciamo loro. Le estinzioni indotte dall'uomo tendono quindi a diminuire progressivamente con il tempo.

Se questo è vero, vi sono diverse implicazioni. Alcune migliaia di anni fa i nostri antenati potrebbero avere sterminato molte più specie di quelle per cui ci preoccupiamo oggi. D'altro canto, ciò vorrebbe dire che abbiamo più tempo di quanto credessimo per prevenire catastrofi future in quelle aree in cui gli esseri umani sono già parte dell'ecosistema da un po' di tempo, e meno tempo di quanto credessimo per evitarle in quelle aree in cui l'uomo è appena arrivato.

«La questione è come affrontare l'incertezza, dal momento che non vi è modo per eliminare l'incertezza stessa» sostiene Winemiller. «Noi pensiamo che la situazione sia estremamente seria. Semplicemente, non pensiamo che il problema dell'estinzione delle specie sia l'unico argomento su cui debba impegnarsi il movimento conservazionista. Altrimenti, se questa estinzione si rivelasse infondata, che cosa ci resterebbe?»

Salvataggi a lungo termine

Certamente resterebbero un minore senso di urgenza e una manciata di argomentazioni di scarsa presa politica ed economica (*si veda la finestra nelle due pagine successive*). Potremmo anche trovarci costretti a riconoscere che molte delle specie in pericolo oggi sono in realtà il residuo di qualcosa che è già stato eliminato dall'evoluzione. Questo è un concetto difficile da accettare, per molti ambientalisti. «A meno che non diciamo che nessuna perdita di specie è accettabile, non potremo difendere alcuna linea estrema, e verremo respinti sempre più indietro via via che

Frans Lanting/Minden Pictures

LA RICCHEZZA DELLA FORESTA PLUVIALE
(qui si vede uno scorcio di foresta del Borneo) è in gran parte sconosciuta, sia in termini biologici, sia in termini economici.

Filtri di estinzione

La sopravvivenza del più adatto assume un nuovo significato quando gli esseri umani procedono allo sviluppo di una regione. Tra quattro regioni del mondo caratterizzate da clima «mediterraneo», quelle sviluppate più di recente hanno perso percentuali maggiori delle proprie specie di piante vascolari in tempi moderni. Una volta che le specie meno compatibili con le pratiche agricole siano state sottoposte al filtro della «selezione artificiale», i tassi di estinzione sembrano decrescere.

Regione (in ordine di sviluppo)	Specie estinte (per mille)	Specie minacciate (per cento)
Mediterraneo	1,3	14,7
Provincia del Capo (Sudafrica)	3,0	15,2
California	4,0	10,2
Australia occidentale	6,6	17,5

FONTE: Extinctions in Mediterranean Areas *di Werner Greuter in* Extinction Rates, *a cura di J. H. Lawton e R. H. May, Oxford University Press, 1995*

Perché la biodiversità non paga (ancora)

Foz do Iguaçu, Brasile. Al Congresso internazionale degli entomologi della scorsa estate, Ebbe Nielsen, direttore della Australian National Insect Collection di Canberra, rifletteva sul perché, a dispetto della Convenzione del 1992 sulla diversità biologica sottoscritta a Rio de Janeiro da 178 paesi, da allora sia stato fatto così poco per difendere le specie minacciate di estinzione in tutto il mondo. «Tu ed io possiamo dirci che i tassi di estinzione sono troppo alti e che dobbiamo fare qualcosa per fermarli, ma per convincere i politici abbiamo bisogno di argomenti pesanti» diceva Nielsen. E continuava: «Nei paesi in via di sviluppo le pressioni economiche sono altissime, e la gente sfrutta tutto ciò che riesce a trovare, pur di sopravvivere fino al giorno dopo. Finché le cose stanno in questo modo, non ci sarà alcun sostegno alla biodiversità».

Non ci sarà, per meglio dire, finché non diventi più vantaggioso dal punto di vista economico lasciare in piedi una foresta o non bonificare una zona umida rispetto al convertire queste aree in fattorie, pascoli o parcheggi.

Una barriera alle malattie e alla carestia

«Gli argomenti strettamente utilitaristici dicono: l'incredibile diversità genetica contenuta nelle svariate specie e popolazioni è in definitiva la materia prima della rivoluzione biotecnologica di domani» osserva Robert May di Oxford. «Essa è la fonte di nuovi farmaci.» O di nuovi alimenti, aggiunge E. O. Wilson di Harvard, se dovesse accadere qualcosa alle 30 specie coltivate che attualmente forniscono il 90 per cento delle calorie alla dieta umana, o alle 14 specie animali che costituiscono il 90 per cento del nostro bestiame da allevamento.

«Alcune persone che dicono questo potrebbero perfino crederci» continua May. «Io non ci credo. Fra 20 o 30 anni si progetteranno i nuovi farmaci a partire dalla molecola, come già si sta cominciando a fare.»

Una decina di anni fa accese molte speranze il fatto che la Merck avesse pagato 1,14 milioni di dollari alla InBio, un gruppo conservazionista del Costa Rica, per nuove sostanze chimiche estratte da specie della foresta pluviale. Il contratto avrebbe garantito ritorni in diritti alla InBio se da queste sostanze fossero stati ricavati nuovi farmaci. Ma ciò non è avvenuto, e la Merck ha revocato l'accordo nel 1999. La Shaman Pharmaceuticals, fondata nel 1989 per commercializzare piante medicinali tradizionali, era giunta fino ai test clinici di ultima fase, prima di fallire. E dato che, come lo stesso Wilson nota in *Diversità della vita*, oltre il 90 per cento delle varietà conosciute di piante alimentari fondamentali è custodito in banche di sementi, è difficile sostenere che i parchi nazionali siano la più economica forma di assicurazione nei confronti delle carestie di piante agricole.

I servizi degli ecosistemi

«L'argomento potenzialmente più forte - dice May - è pure di tipo utilitaristico: i sistemi ecologici rendono servizi che stiamo solo vagamente iniziando ad apprezzare. Non sappiamo quanto sia possibile continuare a semplificare questi sistemi prima che cessino di funzionare. Come disse una volta Aldo Leopold, la prima regola del riparatore intelligente è tenere tutti i pezzi.»

Il problema di questo argomento, spiega Geoffrey Heal, economista della Columbia University, è che «non ha senso chiedersi quale sia il valore della sostituzione di un sistema di supporto delle forme viventi». Gli economisti possono solo assegnare un valore a cose per le quali esistono mercati, egli afferma. Se tutto il petrolio dovesse finire, per esempio, potremmo rivolgerci a combustibili alternativi dal costo di 50 dollari al barile. Ma questo non determina il prezzo del petrolio.

E per quanto recenti esperimenti indichino che la rimozione di una grande quota di specie da una piccola area ne diminuisca la biomassa e la capacità di assorbimento dell'anidride carbonica, gli scienziati non sanno ancora dire se questo principio si applichi o no agli interi ecosistemi. «Può anche essere che un mondo penosamente semplificato - il mondo del film cult *Blade Runner*, per intenderci - possa essere anche gestito in modo da poterci sopravvivere» concede May.

Il principio di responsabilità

Dal momento che la scienza sa così poco sui milioni di specie che si trovano «là fuori», figurarsi quanto può sapere del ruolo complesso che ognuna di esse svolge nell'ecosistema in cui abita. Potrebbe così non essere mai possibile giungere ad argomentazioni di tipo economico per indurre la società alla salvaguardia delle specie in pericolo. Un argomento di tipo morale potrebbe essere allora l'ultima speranza: certamente esso farebbe appello al senso di responsabilità dei leader politici. Ma non è rischioso per gli scienziati affidarsi a un argomento del genere?

Essi lo fanno, naturalmente, in varie forme. Per Wilson «ogni specie è un capolavoro dell'evoluzione: un'entità vecchia di milioni di anni codificata da 5 miliardi di lettere dell'alfabeto genetico e squisitamente adattata alla propria nicchia di appartenenza». Per questa ragione, il biologo conservazionista David Ehrenfeld sosteneva in *The Arrogance of Humanism* che «il fatto di esistere in natura implica il diritto imprescindibile a continuare la propria esistenza».

Perché vi sia un riconoscimento condiviso di questo diritto, ci vorrebbe molta istruzione e persuasione. Secondo un sondaggio dell'anno scorso, meno di un quarto degli statunitensi era in grado di dare un significato al termine «diversità biologica». Tre quarti esprimevano preoccupazione sulla perdita di specie e habitat, ma nel 1996 a preoccuparsi era l'87 per cento. E May osserva che il concetto di responsabilità verso la biodiversità è «un lusso da mondo sviluppato. Se noi fossimo nella più nera miseria, e dovessimo cercare di sfamare con qualcosa il nostro quinto figlio, questo argomento avrebbe certamente meno ascolto».

Ma se gli scienziati «si mettono a fare proselitismo in favore della biodiversità - come Wilson, Lovejoy, Ehrlich e altri hanno fatto - dovrebbero rendersi conto che questo lavoro comporta pericoli» avverte David Takacs della California State University di Monterey Bay. «Questo impegno minaccia di compromettere la percezione della neutralità di valori e dell'obiettività dello scienziato da parte dell'uomo della strada, ovvero di compromettere proprio ciò che fa sì che gli scienziati trovino ascolto.» E tuttavia, se a farsi avvocati delle specie rare non sono coloro che le conoscono meglio e le amano di più, chi potrà farlo al posto loro?

Frans Lanting/Minden Pictures

le perdite aumenteranno» sosteneva Brooks al convegno di Hilo. Ma le perdite sono inevitabili, dice Wilson, fino a che la popolazione umana non cessi di crescere. «Io chiamo tutto questo "collo di bottiglia" - aggiunge Wilson - perché dobbiamo oltrepassare una fase critica per le risorse che restano al fine di raggiungere un'era (forse a partire dal XXII secolo) di popolazione in declino. Il nostro obiettivo dovrebbe essere quello di portare al di là del collo di bottiglia quanta più biodiversità possibile.» I biologi sono divisi, comunque, sul fatto che le poche specie «carismatiche» finora riconosciute come in pericolo debbano determinare o meno che cosa spingere attraverso il collo di bottiglia.

«L'argomento secondo cui, quando si proteggono uccelli e mammiferi, anche tutto il resto ne trae beneficio non regge a un esame approfondito» dice May. Un obiettivo più intelligente è quello di «tentare di conservare il più possibile la storia evolutiva». Molto più preziosi di un panda o di un rinoceronte, egli sostiene, sono fossili viventi come il tuatara, un grande rettile simile a un'iguana che vive solo su isolette al largo della costa neozelandese. Restano solo due specie di tuatara diramatesi tanto tempo fa dal tronco principale dell'albero evolutivo dei rettili da costituire un genere, un ordine e quasi una sottoclasse a sé stante.

Ma Woodruff, che è ecologo all'Università della California a San Diego, invoca un principio ancora più ampio. «Alcuni di noi sostengono che dovremmo cambiare mentalità, passando dalla preoccupazione di salvare alcuni prodotti dell'evoluzione a quella di salvare l'evoluzione stessa» egli scrive. «Questo processo ci dovrebbe garantire di ottenere la soluzione più economica al problema generale di conservare la natura.»

Ci sono ancora alcune vaste aree nelle quali è la selezione naturale a determinare quali specie debbano sopravvivere e quali soccombere. «Perché non salvare gli ecosistemi che non sono stati ancora devastati?» chiede Winemiller. «Regioni come la Guyana contengono di gran lunga più specie di alcuni dei cosiddetti punti caldi.» Per far questo occorrerebbe riservare territori abbastanza ampi perché interi ecosistemi possano spostarsi in latitudine in risposta al cambiamento del clima. Ciò significherebbe anche proibire qualunque uso umano del territorio. Questo potrebbe non essere impossibile: la foresta non ancora intaccata è relativamente a buon mercato, e la popolazione dei potenziali compratori è recentemente aumentata a dismisura.

«Paradossalmente è molto più facile persuadere un miliardario dell'importanza di questo problema di quanto si possa fare con il pubblico americano» dice Wilson. «Coinvolgendo un Ted Turner, un Gordon Moore o un Craig McCaw, si può fare quasi quanto farebbe il governo di un paese sviluppato.»

«Forse anche di più» concorda Richard E. Rice, principale economista della Conservation International. Con il denaro di Moore, McCaw, Turner e altri benefattori, Conservation International ha sbaragliato la concorrenza delle compagnie di sfruttamento del legname che tentavano di aggiudicarsi l'uso di territorio forestato in Suriname e Guyana. In Bolivia, riferisce Rice, «abbiamo conservato un'area delle dimensioni del Rhode Island per metà di quello che è il prezzo di una casa in città», mentre la Nature Conservancy è stata in grado di aggiudicarsi un appezzamento di foresta grande come il Parco nazionale di Yellowstone per solo un milione e mezzo di dollari.

Alla fine di luglio, il Perù ha rilasciato a un gruppo ambientalista la prima «concessione per la conservazione» - vale a dire una licenza rinnovabile per il diritto di non sviluppare il territorio - per 130 000 ettari di foresta. Il Perù ha attualmente aperto circa 60 milioni di ettari della propria foresta demaniale a concessioni di questo genere, e sono in corso sforzi per negoziare accordi analoghi in Guatemala e Camerun.

«Anche senza un massiccio supporto dell'opinione pubblica o una favorevole politica governativa negli Stati Uniti, le cose stanno un poco migliorando» dice Wilson, con una sfumatura di ottimismo. Tutto sommato, è forse ancora presto per disperarsi.

BIBLIOGRAFIA

LAWTON JOHN H. e MAY ROBERT M. (a cura), *Extinction Rates*, Oxford University Press, 1995.

REGAN HELEN M. e altri, *The Currency and Tempo of Extinction*, in «The American Naturalist», 157, n. 1, pp. 1-10, gennaio 2001.

LEVIN SIMON ASHER (a cura), *Encyclopedia of Biodiversity*, Academic Press, 2001.

LOMBORG BJØRN, *The Skeptical Environmentalist*, Cambridge University Press, 2001.

CODICE ROSSO per il Web

di Carolyn Meinel
Fotografie di Ethan Hill

Internet può collassare? Gli attacchi di Code Red di questa estate potrebbero preannunciare una guerra telematica distruttiva tra gruppi di hacker o tra governi

"Si immagini un'influenza che si propaga attraverso le particelle sospese nell'aria. Finché non comincia a starnutire, ognuno pensa di essere in buona salute. La sola protezione efficace sarebbe un impossibile totale isolamento." Jane Jorgensen, direttore di ricerca presso la Information Extraction & Transport di Arlington, in Virginia, azienda che svolge ricerche di epidemiologia Internet per conto della Defense Advanced Research Projects Agency, non sta descrivendo la prossima epidemia di un male di stagione ma un problema che riguarda il Web. Una di queste malattie informatiche si è manifestata in luglio e in agosto, destando preoccupazioni negli esperti di sicurezza informatica più che in ogni altro caso precedente. La costernazione era causata da Code Red, un baco del Web, un morbo elettronico che infetta gli IIS (Internet Information Server) Microsoft. Mentre i computer domestici utilizzano tipicamente altri sistemi, i più diffusi siti Web girano su IIS: con una rapidissima azione in due tempi Code Red è in grado di infettare centinaia di migliaia di IIS in sole due ore, rallentando le operazioni Internet. Sebbene gli effetti di Code Red siano scemati, rattoppare i buchi nella

GLI HACKER AMERICANI sono stati arruolati per combattere le battaglie telematiche del governo degli Stati Uniti.

protezione dei sei milioni di IIS Microsoft in tutto il mondo e riparare i danni è costato miliardi di dollari. Ciò che più inquieta gli esperti, tuttavia, è l'idea che Code Red possa preannunciare future epidemie ancora più virulente.

In passato, i danni della rete erano provocati da persone che irrompevano da sole nei siti: l'equivalente del gettare volantini propagandistici su un bersaglio. Ma si teme fortemente l'arrivo di nuovi attacchi di bachi automatici meglio progettati che potrebbero distruggere il World Wide Web. Altri addirittura ritengono che Code Red fosse solo un test per il tipo di programmi che un governo potrebbe usare per distruggere Internet in caso di guerra. Le prime avvisaglie di un simile confronto sono arrivate con le scaramucce online della scorsa primavera, all'epoca dell'incidente diplomatico tra Stati Uniti e Cina causato dallo scontro tra un aereo spia statunitense e un caccia cinese.

Il giorno degli zombi

Una guerra telematica a grande scala potrebbe causare danni incalcolabili nel mondo industrializzato (si veda *Che cosa succede se Internet collassa?* nel box quisotto). Questi assalti segreti potrebbero «arruolare» qualsiasi PC, rendendolo uno zombi in grado di partecipare alla prossima offensiva telematica. A parte la scala a cui sono portati, non esiste una grossa differenza tra gli attacchi individuali e quelli governativi. Spesso confusi con i virus, Code Red e i suoi analoghi, come Melissa e SirCam, sono più propriamente definiti bachi. Imitando il meccanismo di azione del suo omonimo biologico, per funzionare e replicarsi un virus informatico deve invadere un altro programma. Un baco informatico è differente: è autocontenuto e si replica da solo. Spesso i bachi sono molto più infettivi dei virus. Code Red è particolarmente pericoloso poiché può portare attacchi di interruzione del servizio (DDoS, Distributed Denial of Service) che sovraccaricano i computer con un diluvio di comunicazioni-spazzatura.

In luglio, nel suo periodo di massima diffusione, Code Red ha minacciato la sopravvivenza del Web occupando tutta la sua larghezza di banda, o capacità di trasmissione dati. «Nella guerra telematica è un'arma potentissima» spiega Greggory Peck, un ingegnere addetto alla sicurezza telematica della FC Business Systems di Springfield, in Virginia, azienda specializzata nella difesa degli utenti e del governo degli Stati Uniti dal crimine informatico.

In un attacco DDoS, un computer di controllo utilizza molti zombi per inondare il Web con dati inutili inviati a una vittima designata, cercando di occupare tutta la larghezza di banda disponibile. Questo tipo di assalti fece notizia per la prima volta l'anno scorso, quando gli attacchi DDoS furono indirizzati contro Yahoo, eBay [una sorta di grande magazzino on-line] e altri «punto com».

Questi primi incidenti DDoS avevano cooptato solo centinaia o al massimo migliaia di zombi perché gli aggressori dovevano infettarli uno per uno. Code Red, invece, si diffonde automaticamente ed esponenzialmente. Questa caratteristica gli fornisce un numero di zombi centinaia di volte più alto: quanto basta per saturare rapidamente tutta la larghezza di banda disponibile della rete. Questa iniziale diffusione del contagio di Code Red non era nulla di più che l'equivalente di un raffreddore. Nei cinque giorni successivi il 12 luglio, quando fece la sua comparsa, raggiunse solo 20 000 IIS su circa mezzo milione di macchine esposte al contagio. Al quinto giorno il baco fu scoperto da Ryan Permeh e Marc Maiffret della eEye Digital Security di Aliso Viejo, in California, che produce software di sicurezza per i server Microsoft. Il mondo fu così allertato. Ma il giorno 19 il baco si ripresentò in una forma ancora più virulenta. «Quasi 360 000 server furono infettati in meno di 14 ore» ricorda David Moore, direttore tecnico della Cooperative Association for Internet Data Analysis di La Jolla, in California, una organizzazione finanziata da fondi pubblici e privati che studia e mappa la popolazione dei server della rete.

L'AUTORE

CAROLYN MEINEL si occupa soprattutto di sicurezza telematica. È autrice di diversi libri, tra cui *The Happy Hacker* e *Überhacker! How to Break into Computers*. Il suo prossimo volume, *War in Cyberspace*, esamina la guerra telematica su Internet.
Il suo sito Web, happyhacker.org, è una risorsa preziosa per gli utilizzatori di computer.

Attacchi ciclici

L'ingorgo del traffico era generato da una quantità enorme di computer che cercavano di cooperare con altre macchine, sovraccaricando all'inverosimile la capacità di Internet. A metà pomeriggio, l'Internet Storm Center di incidents.org - il «cane da guardia» dell'industria della sicurezza informatica - lanciò un allarme rosso, che segnala un collasso della rete. Poi, a mezzanotte, tutti gli zombi Code Red smisero di cercare nuove vittime, concentrandosi sull'intasamento di uno dei server che ospitano il sito della Casa Bianca con connessioni di disturbo e minacciandone il blocco.

«La Casa Bianca spense uno dei suoi due server DNS, spiegando che ogni richiesta alla pagina whitehouse.gov avrebbe dovuto essere reinstradata verso altri server» spiega Jimmy Kuo, un borsista della Network Associates McAfee, che ha assistito la Casa Bianca nel trovare una soluzione al problema. «Gli amministratori di sistema distrussero tutte le comunicazioni indirizzate al server compromesso.» Si è visto così che Code Red non poteva entrare in contatto con l'indirizzo di protocollo Internet alterato e si scatenava invece sul sito inattivo. «Il pubblico non ha notato nulla poiché ogni richiesta andava sull'altro server» spiega Kuo.

Il 20 luglio, tutti gli zombi di Code Red esistenti furono posti in un letargo eterno programmato. Poiché i bachi alloggiano solo nella memoria RAM di un computer - scarica quando la macchina è spenta - bastò un semplice riavvio per estirpare ciò che ne rimaneva. Caso chiuso. Ma era veramente così? Pochi giorni più tardi gli analisti dell'eEye rivelarono che se qualcuno avesse pubblicato una nuova copia di Code Red in un qualunque momento tra il 1° e il 19 di un qualunque mese (le date scatenanti codificate dall'hacker originale) l'infezione sarebbe ripartita.

Quasi 360 000 server sono rimasti infettati dal BACO CODE RED in meno di 14 ORE.

Nei 10 giorni successivi, gli addetti alla sicurezza lavorarono per notificare agli utenti di IIS Microsoft la vulnerabilità dei loro server. Il 29 luglio la Casa Bianca tenne una conferenza stampa per chiedere a tutti di proteggere i propri server IIS nei confronti degli attacchi di Code Red.

«Il massiccio traffico associato alla propagazione di questo baco potrebbe compromettere il funzionamento di Internet» avvertì Ronald L. Dick, direttore del National Infrastructure Protection Center dell'FBI. Il giorno successivo Code Red era su tutti i giornali. La seconda ondata fu, come atteso, più debole della prima. Il 1° agosto, infettò circa 175 000 server: quasi tutti quelli vulnerabili e circa metà di quelli coinvolti nel primo episodio.

Debolezze fatali

Un più lento tasso di infezione e un minore numero di server vulnerabili mantennero al minimo i danni. Dopo poco tempo, il secondo attacco si placò. Ma non era la fine di tutta la vicenda. Il 4 agosto era in circolazione un altro baco che utilizzava lo stesso metodo di irruzione di Code Red. Code Red II era in grado di installare una *backdoor* nei computer infettati, che permette a un hacker controllore di dirigere a piacimento le loro attività. Il baco infettò gli intranet mediante *arp storm* (alluvioni di pacchetti Ethernet) e si mise a caccia di nuove vittime.

L'ANALISTA DEL WEB David Moore ha seguito la rapida diffusione di Code Red.

Che cosa succede se Internet collassa?

Quali sarebbero le conseguenze di un disastro causato da una offensiva di hacker?

Sarebbe molto peggio che non essere in grado di fare ordini su eBay; potenzialmente sarebbero influenzate molte operazioni: la produzione e la consegna di merci, le transazioni bancarie, le comunicazioni telefoniche e altro ancora. Oggi molte attività commerciali utilizzano il World Wide Web per ordinare merci ed effettuare spedizioni. Un collasso del sistema interromperebbe immediatamente la produzione in cui i componenti raggiungono la linea di montaggio uno o due giorni prima di essere utilizzati, per risparmiare sui costi di stoccaggio. Anche molti negozi al dettaglio fanno affidamento sul Web per tenere in magazzino meno merci. In pochi giorni comincerebbero a svuotarsi. Nel giorno dell'attacco potrebbe essere difficile usare il libretto degli assegni o la tessera magnetica per il prelievo automatico, poiché per risparmiare molte banche stanno usando Internet invece di linee dedicate. Altre istituzioni finanziarie come Wall Street affermano di essere più esposte ad alterazioni dei dati di transazioni più che a un blocco del sistema. La seconda eventualità verrebbe affrontata chiudendo le contrattazioni.

Sebbene oggi molti telefoni possano ancora funzionare in caso di collasso del Web, gli esperti spiegano che tra pochi anni la situazione potrebbe essere diversa. La telefonia via Internet è nata per permettere chiamate telefoniche gratis su grandi distanze. Ora tuttavia molte chiamate ordinarie viaggiano per una parte del percorso su Internet.

Nel frattempo le comunicazioni non segrete degli US Armed Services viaggiano attraverso NIPRNET (Non-Secure Internet Protocol Router Network), che utilizza comunicazioni Internet pubbliche. Secondo Greggory Peck, ingegnere di sicurezza per FC Business Systems di Springfield, in Virginia, che fornisce servizi informatici al governo federale, il Dipartimento della difesa è ora «completamente dipendente» da NIPRNET.

Molti si chiedono se le linee aeree possano essere rese inutilizzabili se il World Wide Web dovesse collassare. Il sistema di controllo del traffico della Federal Aviation Administration è sufficientemente antiquato da non correre il pericolo di essere ostaggio di Internet.

I bachi di Internet «CODE RED»

CODE RED è un baco Internet che infetta gli Internet Information Server (IIS) Microsoft non protetti su cui girano molti siti Web. Durante l'estate, gli assalti segreti del baco hanno trasformato i computer IIS in «zombi» che hanno condotto attacchi DDoS al sito della Casa Bianca, cercando di sovraccaricarlo con un flusso di comunicazioni spazzatura. Bachi più efficaci hanno il potenziale per saturare la capacità di trasmissione dati del Web, arrivando anche a rendere Internet inutilizzabile.

Un hacker malintenzionato immette il baco Code Red in Internet per trovare un host server vulnerabile

Il baco si diffonde in altri server esposti al contagio, trasformandoli in zombi che a loro volta ne infettano altri. Il processo continua esponenzialmente finché...

... Code Red cessa di proliferare e i numerosi zombi si dedicano all'attacco del sito della Casa Bianca, cercando di saturare il suo server con comunicazioni spazzatura

www.whitehouse.gov

il baco va in letargo. Per quanto tempo?

1° giorno | 1°-18° giorno | 19°-27° giorno | 28°-31° giorno...

Numero di singoli indirizzi IP: 300 000, 250 000, 200 000, 150 000, 100 000, 50 000, 0

Tempo (EDT): ore 6, ore 12, ore 18

Gli indirizzi IP infettati da CODE RED

In un periodo di 12 ore, il 19 luglio 2001, il numero di indirizzi IP compromessi dal primo assalto su grande scala del baco Code Red è cresciuto da circa 16 000 a circa 280 000. Dopo la sua diffusione iniziale, Code Red si è posto in letargo. Poco tempo dopo, tuttavia, una nuova infezione ha causato un altro piccolo collasso. Gli esperti stimano che gli attacchi del baco e le successive manifestazioni di Code Red II finiranno per costare molti milioni di dollari in riparazioni.

IN PILLOLE

- La comparsa del baco informatico Code Red, che la scorsa estate ha gettato Internet nello scompiglio, ha suscitato fra gli esperti preoccupazioni senza precedenti.
- Code Red infetta e «recluta» gli IIS (Internet Information Server) Microsoft. I computer «zombi» così creati inviano masse di dati inutili alle vittime designate, intasando una gran parte della larghezza di banda di Internet.
- Un rischio ancora maggiore è dato dalla possibilità di scatenare bachi informatici in caso di conflitti internazionali, come avvenne durante la crisi fra Stati Uniti e Cina lo scorso aprile, quando hacker americani e cinesi attaccarono siti della parte opposta.
- Date le connessioni fra hacker e governi - ben documentate per gli Stati Uniti - non è fantascientifico pensare che programmi come Code Red possano servire per una vera e propria guerra telematica.

della Carnegie Mellon University, finanziata con fondi federali, ha ricevuto notizia di oltre 23 000 zombi W32/Leaves. Il numero attuale è ignoto, ma se W32/Leaves continua a propagarsi, la popolazione infettata potrebbe crescere parecchio. In luglio, Scotland Yard ha accusato un ventiquattrenne di cui non è stato reso noto il nome di aver creato W32/Leaves.

«Pressoché ogni produttore di computer conosce i punti deboli dei propri sistemi operativi o software che consentono le intrusioni» spiega Larry Leibrock, ricercatore di diritto informatico e docente della Business School della Università del Texas ad Austin. «Le future normative potrebbero imporre ai venditori di prendere l'iniziativa di contattare i clienti per aiutarli ad aggiornare i loro prodotti e colmare le pecche in fatto di protezione» continua Leibrock. «Oggi tocca all'utente scovare e bloccare le diverse vie di accesso ai computer sfruttate dagli hacker.»

Guerre mondiali telematiche

Oltre alla minaccia rappresentata dai programmi degli hacker, occorre tenere presente il pericolo di attacchi Internet condotti in modo concertato da esperti significa che è in grado di camuffarsi da qualunque computer della rete. Questa caratteristica ne fa un baco difficile da snidare sui server infettati. Nel frattempo gli attacchi telematici favorevoli agli Stati Uniti si intensificarono. Secondo la pubblicazione ufficiale cinese «People's Daily», «alla fine di aprile più di 600 siti cinesi sono stati attaccati». Per contro, gli hacker cinesi colpirono solo tre siti statunitensi durante lo stesso periodo.

Nei giorni seguenti i gruppi hacker cinesi HUC, Redcrack, China Net Force, China Tianyu e Redhackers assaltarono una decina di siti americani con slogan come «Attacca l'arroganza anti-cinese!» Il 1° di maggio erano in corso molti attacchi DDoS. Nelle settimane successive gli hacker cinesi rivendicarono la distruzione di altri 1000 siti americani. Il 7 maggio la Cina riconobbe la sua responsabilità per gli attacchi DDoS e chiese la pace in un articolo di «People's Daily». Suonava così: «Gli hacker cinesi sono stati invitati a rinunciare a ogni azione irrazionale e a convertire il loro entusiasmo nello sforzo di rafforzare il paese e salvaguardare la pace mondiale».

Le forze di polizia, la Casa Bianca e gli hacker statunitensi non hanno mai ecce-

Code Red II installava nei computer una backdoor che consentiva all'hacker di COMANDARLI.

Col tempo, Code Red II riuscì a infettare molti intranet di aziende e istituti. Le vittime più comuni erano server personali con installato Windows 2000 Professional. La catena di irruzioni spinse incidents.org a dichiarare nuovamente un allarme rosso. Gli esperti stimano che furono 500 000 i server coinvolti.

Alla metà di agosto, Computer Economics, una società di ricerche sulla sicurezza, ha dichiarato che Code Red era costato 2 miliardi di dollari in riparazioni. Nel momento in cui il baco sarà estirpato da Internet, l'attacco telematico sarà probabilmente classificato tra i più costosi della storia. L'anno scorso sono stati spesi circa 9 miliardi di dollari per combattere il virus LoveLetter, mentre nel 1999 l'assalto del baco Melissa costò un miliardo di dollari.

Certamente Code Red non è l'unico baco da temere. Alcuni sono progettati per colpire i computer domestici: W32/Leaves, per esempio, consente a un aggressore remoto di controllare PC infettati in modo coordinato, permettendo ondate di attacchi sincronizzate. (Anche Code Red II permette ciò, ma non il controllo remoto.) Il Computer Emergency Response Team, una organizzazione di controllo della rete che agiscano in particolari situazioni di tensione internazionale. Le battaglie telematiche che scoppiarono lo scorso aprile in seguito alla collisione tra un caccia cinese e un aereo spia EP-3E della Marina degli Stati Uniti sono state un esempio di come tali conflitti possano avvenire.

Secondo i resoconti della stampa, gli scambi di attacchi di hacker cominciarono durante i negoziati per il rilascio degli ostaggi. I giorni 9 e 10 aprile, gli aggressori invasero due siti Web cinesi con insulti e perfino minacce di guerra nucleare. Durante le settimane seguenti, gli hacker americani colpirono decine di altri siti cinesi. I sostenitori della Cina replicarono con un attacco a un sito Web della Marina statunitense.

La Cina, tuttavia, aveva un'arma nascosta. Alla fine di marzo, il National Infrastructure Protection Center ha messo in guardia contro un nuovo baco sulla rete: 1i0n. La sua creazione è stata rivendicata da Lion, l'hacker fondatore del gruppo HUC (Honkers Union of China). A differenza degli zombi programmati del primo Code Red, quelli di 1i0n accettano nuovi comandi da un computer centrale. Inoltre, 1i0n infetta i computer Linux; ciò pito al ruolo svolto dalla parte statunitense in questo conflitto telematico, ma l'FBI ha messo in guardia nei confronti della «possibilità di una maggiore attività di hacker contro i sistemi statunitensi».

Come scatenare la guerra telematica segreta

Alla luce dell'episodio dell'aereo spia, alcuni commentatori si sono chiesti se il governo degli Stati Uniti abbia incoraggiato gli hacker americani a diventare agenti della guerra telematica. Dopo tutto, gli Stati Uniti avevano già lavorato con gruppi privati per scatenare guerre segrete, come durante lo scandalo Iran/Contra. È difficile tuttavia dire esattamente quanto forte sia la connessione tra hacker e governo. Certamente sull'oscuro mondo dell'hacking non si può sapere molto di certo. E poiché la politica della National Security Agency e di varie organizzazioni di guerra telematica del Dipartimento della difesa è di non fare commenti in materia di sicurezza Web, queste relazioni, benché plausibili, non possono essere confermate.

Consideriamo la storia di Fred Villella, ora consulente informatico indipendente. Secondo vari articoli giornalistici, Villella prese parte alle attività di controterrorismo negli anni settanta. Nel 1996 assunse hacker del Dis Org Crew per aiutarlo a organizzare sessioni di addestramento per la difesa delle agenzie federali. Questo gruppo partecipa anche all'organizzazione di Def Con, il più grande convegno mondiale di hacker. Erik Ginorio (noto nel mondo degli hacker come Bronc Buster) rivendicò pubblicamente l'attacco a un sito del governo cinese sui diritti umani nell'ottobre 1998. Per la legge americana questo atto è illegale; non solo Ginorio non è stato perseguito, ma afferma di aver ricevuto da Villella un'offerta di lavoro.

In un altro esempio di collegamento hacker-governo, la Secure Computing di San Jose, in California, è divenuta sponsor di Def Con nel 1996. Questa società venne fondata su iniziativa della National Security Agency, l'ente supersegreto di decrittazione e di spionaggio del governo degli Stati Uniti. Due anni dopo, la Secure Computing assunse il proprietario di Def Con, Jeff Moss. Molti ex istruttori di Villella organizzarono e gestirono Def Con. Cose strane accadono in queste occasioni. Nell'edizione del 1999, per esempio, il Cult of the Dead Cow, una banda di hacker che ha come quartier generale Lubbock, nel Texas, allestì uno spettacolo molto seguito dai media per promuovere il suo programma di intrusione Back Orifice 2000. Il tutto esaltando la bontà del progetto per «salvare il mondo con la pirateria informatica» e la possibilità di violare i server Windows anche da parte di bambini di otto anni. Pieter Zatko, un hacker di Boston membro della banda, era sul palcoscenico per promuovere la vendita di un software di plug-in per incrementare la potenza di Back Orifice 2000.

Secondo il sito Web della banda, Back Orifice 2000 fu scaricato 128 776 volte nelle settimane successive. Il 15 febbraio 2000, il presidente Bill Clinton ha riconosciuto il lavoro di Zatko invitandolo al convegno della Casa Bianca sulla sicurezza Internet. Zatko si è poi intrattenuto a chiacchierare con il presidente e poche altre persone. Ogni anno Def Con tiene una tavola rotonda chiamata «Meet the Feds» (Incontra i federali). All'edizione 2000, Arthur L. Money, già affiliato al Dipartimento della difesa per l'attività di intelligence, disse ai presenti in sala: «Se pensate di avere uno spiccato talento e siete in-

Che cosa si può fare per difendere il Web?

Come dice Pogo, il personaggio dei fumetti, «Abbiamo incontrato il nemico: siamo noi».

Dal punto di vista della sicurezza, il singolo utente di PC rappresenta l'anello più debole della catena Internet. I bachi cibernetici - software autoreplicanti in grado di provocare il blocco delle operazioni sulla rete - possono convertire i computer domestici in zombi o schiavi che li aiutano a perturbare l'attività di altri computer. Destano preoccupazione soprattutto i bachi che conducono terribili attacchi DDoS, in cui i computer zombi inondano un sito Web con comunicazioni spazzatura.

Gli esperti sono stati interpellati per dare l'allarme sugli zombi. «Il nostro peggiore incubo Internet è la casalinga che usa la sua DSL [linea ad ampia larghezza di banda] per fare acquisti su eBay» spiega Greggory Peck, ingegnere addetto alla sicurezza della FC Business Systems di Springfield, in Virginia, che fornisce servizi informatici al governo federale degli Stati Uniti. L'ampia larghezza di banda significa che uno zombi domestico può immettere quintali di spazzatura su Internet sommergendo i siti bersaglio. Molti pensano che il proprio computer sia al sicuro solo perché utilizzano periodicamente un antivirus o perché hanno registrato il software e ricevono e-mail di aggiornamento sui prodotti. Beata ingenuità. In realtà pochi produttori si sentono obbligati ad aiutare gli utenti a tener lontani gli hacker. Per questo è importante installare software firewall [in grado di impedire l'accesso non autorizzato a dati privati].

A complicare il problema della sicurezza, la maggior parte dei nuovi PC utilizzerà presto il sistema operativo Windows XP, che è in grado di gestire i *raw socket*. I socket sono i software che generano i pacchetti (le più piccole unità di trasmissione dati) che trasferiscono l'informazione nell'interno delle reti. Con la tecnologia dei raw socket, i pacchetti possono essere prodotti in modo arbitrario, anche se ciò viola i protocolli di protezione. Un raw socket, per esempio, consente al baco 1i0n di nascondersi nei server Linux e di falsificare gli indirizzi Internet (*si veda l'articolo principale*).

Essi consentono anche agli hacker di creare pacchetti difettosi che bloccano il computer ricevente. Oltre a intervenire sui PC domestici, un altro modo per difendere il Web è di arrestare più criminali informatici. Attualmente, tuttavia, gli aggressori pericolosi possono operare attraverso una catena di computer cooptati distribuiti in diverse nazioni. Per ottenere le prove di illeciti, in questi casi si richiede la cooperazione tra le autorità giudiziarie di due o più paesi.

Il perseguimento di criminali informatici sarebbe reso più facile adottando la «Convention on Cyber-crime» ora all'esame di 44 nazioni del Consiglio d'Europa, che include anche Stati Uniti, Canada e Giappone. Parte del trattato potrebbe rendere punibile come reato penale il possesso o la creazione di istruzioni o programmi per il crimine informatico, eccetto che per scopi attinenti alla sperimentazione autorizzata o alla protezione dei sistemi. (Il testo del trattato sul crimine telematico è disponibile alla pagina Web conventions.coe.int/treaty/EN/projects/cybercrime.htm.)

Queste restrizioni, tuttavia, sono controverse. Almeno 35 gruppi lobbistici, tra cui la Electronic Frontier Foundation e la Global Internet Liberty Campaign, si oppongono al trattato poiché ritengono che possa limitare la libertà di parola e non rispettare la privacy. Oltretutto è difficile trovare antidoti a virus e bachi se i ricercatori non possono studiarne una copia sui loro computer.

Un'altra soluzione è imporre che i server Internet siano sicuri. La Federal Trade Commission degli Stati Uniti, per esempio, in luglio ha proposto un regolamento con cui si richiede alle compagnie di servizi finanziari di salvaguardare le loro reti dalle «minacce prevedibili». Questo, tuttavia, è solo un piccolo passo nella giusta direzione.

IL VIROLOGO DELLA RETE Mark A. Ludwig si occupa di virus e bachi informatici dalla sua casa di campagna in Arizona.

decisi su ciò che vi piacerebbe fare per il resto della vita, unitevi a noi per aggiornare il nostro personale».

Nel 1997 Moss lanciò i Black Hat Briefing. Nel gergo degli hacker, un *black hat* è un criminale telematico. In teoria questi incontri hanno come scopo l'addestramento sulla sicurezza, ma spesso sembrano dedicati più al modo di commettere un crimine che a quello di difendersene. Per esempio, in una sessione i presenti sono stati informati su «Evidence-Eliminator» reclamizzato come capace di «sconfiggere lo stesso software usato dal Servizio segreto americano, dalla Dogana e dalla Polizia di Los Angeles».

Abbastanza zombi su abbastanza bersagli e L'INTERA INTERNET diventerebbe inutilizzabile.

Occorre sottolineare che il governo degli Stati Uniti possiede strutture ufficiali per scatenare la guerra telematica. Il 1° ottobre 2000, lo Space Command è divenuto responsabile della missione Computer Network Attack per il Dipartimento della difesa. Inoltre l'Aviazione militare ha attivato un proprio gruppo di ricerca, l'Information Warfare Center, con sede a San Antonio. Date queste risorse, perché Stati Uniti e Cina dovrebbero incoraggiare la guerriglia telematica?

«È molto semplice: chi ha un esercito non ufficiale può disconoscerlo in qualunque momento» spiega Mark A. Ludwig, autore dei libri *The Little Black Book of Computer Viruses* e *The Little Black Book of Internet Viruses*. «Se state facendo qualcosa di sporco e la cosa trapela, passate un sacco di guai.»

Da qualunque parte arrivi, l'assalto di Code Red era solo un assaggio di ciò che potrebbe essere una guerra telematica. «Penso che si possa essere d'accordo sul fatto che non si trattasse di un tentativo di guerra telematica. Il baco era troppo appariscente e facilmente rilevabile per essere più di un atto puramente dimostrativo» spiega Harlan Carvey, consulente di sicurezza informatica della Virginia.

Stuart Staniford, presidente della Silicon Defense di Eureka, in California, nota però che se i computer zombi «avessero avuto un elenco di bersagli e un meccanismo di controllo per permettere un riposizionamento dinamico dei bersagli, avrebbero potuto entrare in possesso dei server DDoSed usati per mappare indirizzi, di quelli usati per distribuire *patch* e di quelli che appartengono alle aziende che analizzano i bachi o distribuiscono informazioni su incidenti. Code Red dimostra come, per un baco, attaccare *tutti* i sistemi vulnerabili non sia più difficile che attaccarne uno. Deve solo propagarsi abbastanza velocemente».

Code Red offre già enormi possibilità a operatori malintenzionati, dichiara Marc Maiffret di eEye: «Il modo in cui è scritto il baco [Code Red] permette ai vandali on-line di redigere un elenco di sistemi infettati e poi di assumerne il controllo».

Cooptati abbastanza zombi per attaccare un numero sufficiente di bersagli, l'intera Internet potrebbe essere inutilizzabile. Anche il normale meccanismo di riparazione - lo scarico di istruzioni e programmi per riparare gli zombi e rendere inattivi elementi pericolosi della rete - potrebbe divenire inservibile. Inoltre gli hacker pubblicizzano sempre nuovi modi per entrare nei computer, che potrebbero esser sfruttati dai bachi. Un aggressore deciso potrebbe immettere un baco devastante dopo l'altro in Internet, colpendo il sistema fino a sopraffarlo.

«Sappiamo già come si può distruggere Internet» spiega Richard E. Smith, ricercatori della Secure Computing e autore del recente libro *Authentication*. «Ciò che trovo particolarmente inquietante del caso Code Red è il basso livello di allarme pubblico. La stampa non specialistica ha presentato l'episodio come un attacco fallito alla Casa Bianca, anziché come un attacco riuscito a centinaia di migliaia di server. Si potrebbe affermare che la vicenda dimostra quanto gli IIS tollerino bene le intrusioni: i siti sono stati violati, ma non sono stati rovinati abbastanza per scombussolare i proprietari o generare più commenti da parte della stampa. Ma ora stiamo aspettando altre gatte da pelare.»

@

www.cert.org/tech_tips/home_networks.htm
Guida alla sicurezza telematica domestica.

www.incidents.org
Il sito dell'Internet Storm Center.

www.nipc.gov
Il National Infrastructure Protection Center.

www.caida.org
La Cooperative Association for Internet Data Analysis.

www.ntbugtraq.org
Informazioni sulla sicurezza di Windows NT, 2000 e XP.

grc.com e **security2.norton.com/us/home.asp**
Test gratuiti del proprio computer di casa.

www.microsoft.com/technet/treeview/default.asp?url=/technet/itsolutions/security/current.asp
Informazioni su Microsoft Windows NT, 2000 e XP.

Dall'*ansia* al *panico*

Un crescendo di emozioni negative

Stimoli potenzialmente critici per la sopravvivenza, come un eccesso di anidride carbonica nell'aria, possono suscitare una grave sintomatologia negli individui predisposti

di Marco Battaglia

In un suo celebre testo, *L'espressione delle emozioni nell'uomo e negli animali,* Charles Darwin ebbe l'intuizione di considerare le emozioni - così come le loro espressioni e il loro corretto riconoscimento - tra gli elementi che influenzano maggiormente le capacità di adattamento di un soggetto alle pressioni ambientali. Il contributo di suo cugino, Francis Galton, non fu meno cruciale per la scienza moderna: ponendo le basi dello studio delle differenze tra gli esseri umani e della futura genetica quantitativa del comportamento, profetizzò che lo studio delle coppie di gemelli identici (monozigoti) e fraterni (dizigoti) sarebbe stato uno strumento privilegiato per discernere l'origine delle differenze tra gli individui.

L'ANSIA FA PARTE della vita quotidiana e può essere persino vantaggiosa per la sopravvivenza in quanto aumenta l'attenzione e la concentrazione. In alcuni individui però, eventi spiacevoli o preoccupanti, come quello raffigurato nel quadro di Umberto Boccioni *Rissa in Galleria* (Milano 1910, ora alla Pinacoteca di Brera), possono innescare disturbi d'ansia che rendono difficile condurre una normale vita sociale. Gli eliotipi riprodotti in questa pagina - eseguiti nel laboratorio del dottor Duchenne - illustrano il trattato di Charles Darwin *L'espressione delle emozioni nell'uomo e negli animali* (1872), una delle prime opere scientifiche a far uso della fotografia. Le emozioni che volevano rappresentare sono, in alto, orrore e angoscia e, in basso, terrore.

Molte delle caratteristiche comportamentali ed emotive che ci distinguono sono infatti una questione di gradi, più che di categorie, e molte delle intuizioni e dei metodi di questi geniali cugini influenzano tuttora la ricerca. L'ansia in particolare ha diverse forme. Da un lato, è un'esperienza emotiva ben nota, il più delle volte benigna e utile: una «giusta quota» migliora le nostre prestazioni aumentando attenzione e concentrazione. Dall'altro, un'ansia eccessiva e sproporzionata rompe, per così dire, le uova nel paniere trasformando, per esempio, studenti ben preparati in candidati insicuri e confusi agli esami, o corteggiatori appassionati in amanti deludenti al momento della verità.

L'ansia patologica

Nell'uomo sono riconoscibili diverse forme di ansia clinica, cioè di disturbi d'ansia. Un disturbo comune nella popolazione è rappresentato dal panico. Esso è caratterizzato da attacchi improvvisi e inattesi, durante i quali le persone colpite avvertono numerosi sintomi di allarme, tra i quali un senso di soffocamento e un'estrema ansietà fisica e psichica. Il disturbo, che colpisce almeno il 2 per cento della popolazione, si manifesta per la prima volta di solito prima dei 30 anni e comporta notevoli costi sociali. Il senso di soffocamento con timore di morte imminente, descritto già dallo stesso Sigmund Freud - che probabilmente ne aveva sofferto - è uno dei sintomi cardine di questa patologia, un sintomo su cui molti ricercatori stanno impegnando i loro sforzi.

Un modello psicobiologico attuale del panico prevede che nell'uomo il disturbo sia almeno in parte riconducibile a un alterato funzionamento di un sistema d'allarme, localizzato nel sistema nervoso centrale e filogeneticamente predisposto al riconoscimento degli stimoli soffocatori. Un errore di «ricezione» - primariamente su base biologica e probabilmente ascrivibile a strutture che si trovano nel sistema nervoso centrale e che sono preposte all'identificazione di stimoli soffocatori - e successivamente uno di «interpretazione» - verosimilmente riferibile alla sfera cognitivo-emozionale della nostra vita mentale - condurrebbero le persone predisposte a sviluppare, in rapida successione, iperventilazione e la sequela di sintomi fisici e psichici che comprensivamente chiamiamo panico, in seguito a minime stimolazioni soffocatorie.

In effetti, è noto da tempo che le persone che soffrono di attacchi di panico hanno una maggiore sensibilità all'aumento del tasso di anidride carbonica nell'aria inspirata (ipercapnia), tanto che un attacco può venire scatenato in condizioni di aumentata pressione parziale di anidride carbonica nei fluidi corporei. Ed è forse attraverso questo stesso meccanismo che

i soggetti a rischio di panico sviluppano più facilmente un attacco quando si trovano in posti chiusi e affollati, tendendo, di conseguenza, a evitare tali situazioni. Una condizione di ipercapnia è anche ottenibile sperimentalmente e questo ha permesso, entro certi limiti, lo studio di modelli del panico nell'uomo.

Il fatto che i viventi abbiano conservato nel corso dell'evoluzione un meccanismo di riconoscimento di condizioni potenzialmente rischiose per la sopravvivenza, come quelle associate a specifici segnali di soffocamento, non è per certi versi sorprendente. Tuttavia, è meno evidente il motivo per cui alcuni individui sono ipersensibili a questi stimoli, come pare accada per l'anidride carbonica in coloro che soffrono di attacchi di panico, e quale possa essere il vantaggio selettivo fornito da questa caratteristica. Cominciano invece ad apparire più chiari alcuni dei meccanismi che regolano la risposta alla stimolazione ipercapnica e la sequela di eventi di attivazione cerebrale provocati da uno stimolo ipercapnico.

Panico in laboratorio

Alcuni chiarimenti sono venuti da un programma di ricerca svolto presso la Facoltà di psicologia dell'Università San Raffaele di Milano, attraverso il quale ci si proponeva di capire l'eccessiva reazione all'anidride carbonica propria dei soggetti ansiosi, nel senso di deviazione quantitativa di eventi fisiologici, piuttosto che in chiave di variazione qualitativa e di fenomeni patologici. L'idea guida consisteva nel considerare la «misteriosa» risposta ansiosa agli stimoli ipercapnici dei pazienti come una variazione quantitativa delle normali risposte agli stimoli di soffocamento nell'uomo e nell'animale.

Per poter testare questa ipotesi era necessario studiare nei soggetti con disturbo di panico le regolazioni delle risposte agli stimoli ipercapnici nel sistema nervoso centrale, a loro volta fisiologicamente controllate da alcune specifiche popolazioni di neuroni, ricche in recettori colinergici muscarinici, in una specifica zona del sistema nervoso centrale, il midollo allungato. Attraverso il pretrattamento di soggetti volontari affetti da disturbo di panico con molecole che bloccavano o i recettori colinergici muscarinici periferici (cioè farmaci antagonisti muscarinici che non superavano la barriera emato-encefalica), o i recettori colinergici muscarinici sia periferici sia centrali del sistema nervoso (cioè farmaci antagonisti musca-

S. Camazine/SPL/Grazia Neri

LE AREE CEREBRALI PROFONDE (*in rosso*), responsabili delle funzioni vitali ed emotive, sono ben distinguibili nell'immagine a fronte, ottenuta con la risonanza magnetica. I disegni evidenziano (*in rosso*) le vie del sistema nervoso centrale implicate rispettivamente nell'ansia anticipatoria (*a*), nel panico acuto (*b*) e nell'evitamento fobico (*c*).

Alcune definizioni utili

• **Ansia generalizzata**: è una condizione subcronica o cronica, la cui caratteristica principale è la presenza di un senso di allarme, ansia e preoccupazione preminentemente di natura cognitiva, caratterizzato cioè da apprensione e anticipazione di ogni fatto nuovo o futuro vissuto come potenzialmente negativo per l'individuo. Oltre a sintomi di natura psichica, sono presenti sintomi fisici, come tensione muscolare, tachicardia, sudorazione.

• **Ansia da separazione**: è una condizione fisiologica che interessa tutti i bambini, in misura variabile, dall'anno e mezzo in poi, tipicamente autolimitante in quanto si risolve al più tardi nella preadolescenza. Si tratta del timore di separarsi in modo reale o immaginario dalle figure parentali, con tentativi, di intensità variabile, di evitare la lontananza o la separazione.

• **Disturbo d'ansia da separazione**: nel disturbo d'ansia da separazione la reazione ansiosa alla separazione - vera o immaginaria - dalle figure parentali diviene estremamente intensa e perdura oltre i tempi fisiologici della normale ansia da separazione. Un esempio tipico può essere la estrema resistenza di alcuni bambini all'asilo o all'inizio della scuola. Molto spesso il disturbo si autolimita e ha prognosi favorevole, ma può richiedere attenzione professionale se si presenta in modo marcato, potendo avere ricadute negative sia sulla resa scolastica sia sull'atmosfera familiare o sull'autostima del bambino. Si è osservato che i soggetti affetti da questo disturbo sono a maggiore rischio di sviluppare panico in età adulta, con esordio più precoce.

• **Attacco di panico**: è un episodio acuto, improvviso ed inatteso, almeno nelle prime fasi del disturbo da attacchi di panico. Si presentano sintomi fisici estremamente violenti che includono: dispnea, tremore, instabilità soggettiva, tachicardia; e sintomi psichici, come un senso di terrore e di morte imminente. Un attacco tipicamente raggiunge la sua acme rapidamente, per risolversi in pochi minuti. Il picco di massima incidenza è nel secondo-terzo decennio di vita, ma occasionalmente gli attacchi di panico e il relativo disturbo si osservano nella seconda infanzia-prima adolescenza. Nel disturbo da attacchi di panico si assiste a una ricorrenza di questi episodi, che comportano aumento del senso di allarme, tentativi di automedicazione e, più in generale, una riduzione dell'autonomia e sovente dell'autostima del soggetto.

• **Agorafobia**: letteralmente, «paura di spazi aperti». Oggi il termine si usa in modo comprensivo, applicandolo anche al timore di stare in spazi chiusi, come treni, auto. L'agorafobia è la più comune complicanza del disturbo da attacchi di panico.

IN PILLOLE

■ L'ansia è un fenomeno naturale che ha un valore evolutivo e presenta notevoli differenze individuali. Essa rientra tra i processi regolatori rilevanti per la vita emotiva e per la sopravvivenza dell'individuo.

■ L'ansia patologica può manifestarsi con sintomi fisici e psichici che nel loro complesso prendono il nome di panico.

■ Nel laboratorio dell'autore si è visto che il disturbo da panico è correlato con un alterato funzionamento del normale sistema d'allarme localizzato nel sistema nervoso centrale e predisposto al riconoscimento di stimoli soffocatori.

■ Si è anche osservato che esiste una certa predisposizione genetica per la suscettibilità al panico, predisposizione che però si manifesta in presenza di determinati stimoli ambientali.

rinici che superavano la barriera emato-encefalica) e, per confronto, con un farmaco inerte (placebo), è stato possibile dimostrare che i recettori muscarinici centrali, ma non quelli periferici, sono implicati nella regolazione della sensibilità all'anidride carbonica. Questi pazienti, infatti, cessano di reagire ansiosamente all'elevazione del tasso di anidride carbonica quando i recettori muscarinici del loro cervello sono stati temporaneamente «posti in stand-by» attraverso la somministrazione di un farmaco che controlla, inibendola, l'azione di questa specifica popolazione di recettori dell'acetilcolina.

Benché l'acetilcolina sia un neurotrasmettitore molto diffuso nel nostro sistema nervoso, tendiamo a interpretare i nostri risultati come il risultato dell'azione diretta sui recettori colinergici muscarinici del midollo allungato ventrale. Dal momento che in natura è indispensabile che le popolazioni neuronali del midollo allungato ventrale funzionino perfettamente per reagire allo stimolo ipercapnico in modo normale - cioè iperventilando e aumentando lo stato di attivazione generale dell'individuo - e poiché sono proprio i recettori colinergici muscarinici che abbondano sulla superficie di questa formazione a mediare la prima fase di ricezione dello stimolo ipercapnico, riteniamo che sia proprio il blocco di questa popolazione recettoriale in questa zona del cervello a spiegare i fenomeni osservati.

Per la prima volta è stato così dimostrato un coinvolgimento di un sistema neurochimico, quello dell'acetilcolina, in un disturbo d'ansia come quello da attacchi di panico. Ancora più interessante è stata però l'indicazione che un'importante componente di un sintomo ansioso, la «fame d'aria», è probabilmente regolata dagli stessi meccanismi neurochimici che permettono ai viventi di reagire adeguatamente agli stimoli di soffocamento, solo con una soglia assai più sensibile in chi soffre di attacchi di panico.

Senso di soffocamento e malattie

La nostra ipotesi di lavoro si basava tuttavia su un assunto piuttosto restrittivo, quello cioè che, tra gli esseri umani, si possa riscontrare un'ampia variabilità per quanto riguarda il grado di sensibilità agli stimoli soffocatori. In natura, quando è in gioco la sopravvivenza dell'individuo, non sempre è, per così dire, «consentita» un'ampia variabilità individuale. L'esistenza di altre prove in favore di una variabilità nel grado di sensibilità agli stimoli ipercapnici sarebbe importante per avvalorare il nostro lavoro. In effetti, l'esperienza clinica ha evidenziato uno spettro di condizioni che depongono a favore dell'esistenza di un rapporto tra gradi di sensibilità allo stimolo ipercapnico, recettori colinergici muscarinici e ansietà.

Un'affezione relativamente rara, la sindrome da ipoventilazione centrale congenita, colpisce in modo specifico i bambini che nascono con una ipoplasia di una importante formazione anatomica situata a livello della porzione ventrale del midollo allungato: il nucleo arcuato. Questi bambini mancano della possibilità di reagire in modo automatico e adeguato alle variazioni della pressione parziale di anidride carbonica nel sangue: per consentire loro di sopravvivere è sovente necessario assisterne la respirazione con ausili meccanici. Qualche anno fa Danny Pine e Donald Klein della Columbia University condussero un'indagine proprio tra questi bambini, confrontando i loro livelli di ansia con quelli dei coetanei colpiti da altre malattie invalidanti. I risultati mostrarono che i bambini con sindrome da ipoventilazione centrale congenita erano significativamente meno ansiosi dei loro coetanei, e ciò a dispetto di una condizione di vita tutt'altro che facile, suggerendo una

Ansia, panico e «fame d'aria»

PARAMETRI RESPIRATORI	DISTURBO DI PANICO (PD)	DISTURBO D'ANSIA GENERALIZZATA (GAD)	SOGGETTI DI CONTROLLO (CS)	CONFRONTO STATISTICO
Frequenza respiratoria (respiri/minuto)	↑↑	↑↑	↓	PD= GAD>CS
Volume corrente	↑↑	↑	↓	PD>GAD>CS
Volume al minuto	↑↑	↑	↓	PD>CS

L'ANSIA AGISCE SUL FUNZIONAMENTO delle vie aeree e sul battito cardiaco attraverso il sistema nervoso autonomo e in particolare attraverso i recettori muscarinici.
La tabella in alto mette a confronto i parametri respiratori misurati in laboratorio, a riposo, in soggetti sani e in soggetti affetti da disturbi d'ansia generalizzata e da attacchi di panico.

L'AUTORE

MARCO BATTAGLIA è professore associato presso la Facoltà di psicologia dell'Università San Raffaele di Milano, dove insegna psicopatologia dello sviluppo. Laureato in medicina all'Università di Milano, si è specializzato in psichiatria a Milano e alla Washington University di St Louis. I suoi interessi di ricerca riguardano l'influenza dei fattori genetici e ambientali sulla personalità umana, la psicopatologia dello sviluppo e la psicobiologia dell'ansia. Per i suoi studi di epidemiologia genetica ha ricevuto quest'anno l'«Independent Investigator Award» della National Alliance for Research on Schizophrenia and Depression.

volta di più l'esistenza di una relazione tra grado di sensibilità allo stimolo ipercapnico e ansietà. È chiaro che un grado ottimale di sensibilità a questo stimolo è importante per la sopravvivenza: un aumento della vigilanza in presenza di questo importante indizio biologico di soffocamento è adattativo, e non può avvenire che in presenza di un midollo allungato correttamente sviluppato e di recettori muscarinici funzionanti.

La mancata sensibilità allo stimolo soffocatorio rende alcuni neonati esposti al rischio della sindrome da morte improvvisa (definita gergalmente «morte bianca» nel nostro paese) quando vengono messi a dormire in posizione prona, costretti a respirare la stessa aria espirata. La comprensione delle cause di questa grave e mortale affezione sembra passare, ancora una volta, per l'analisi delle strutture cerebrali del midollo allungato e dei recettori muscarinici. Qualche anno fa un gruppo di patologi del Children Hospital di Boston guidato da H. C. Kinney ha studiato il tessuto cerebrale di questi sfortunati neonati, paragonandolo con quello di coetanei morti per patologie respiratorie: un particolare antagonista marcato con trizio, il quinuclidinil benzilato, dimostrava una densità insufficiente di recettori muscarinici nel nucleo arcuato del midollo allungato del cervello dei neonati morti a causa della «morte bianca».

Sembra dunque possibile affermare che nell'uomo esistono possibilità di variazione piuttosto ampie della sensibilità individuale agli stimoli soffocatori, e in particolare a quello ipercapnico. Tuttavia, è importante ricordare che, se il midollo allungato media le prime fasi di ricezione dello stimolo, sono le porzioni più alte del cervello a essere in genere implicate nell'esperienza complessa dell'ansia. In altri termini, può essere importante domandarsi attraverso quali vie avviene la reazione fisiologica connessa con la fame d'aria e lo stimolo ipercapnico.

Come la fame d'aria arriva alla coscienza

Che cosa succede nel cervello non appena si è sottoposti a uno stimolo ipercapnico? Attraverso quali tappe di attivazione cerebrale la fastidiosa sensazione di fame d'aria raggiunge la coscienza, attiva le emozioni e promuove le reazioni? Recentemente un gruppo di ricercatori di San Antonio, nel Texas, ha pubblicato - per pura coincidenza negli stessi giorni dell'uscita dei risultati delle ricerche svolte al San Raffaele - una serie di articoli che mostrano come, attraverso la tecnica della PET (tomografia a emissione di positroni), sia possibile ricostruire gli itinerari seguiti dalle attivazioni di diverse aree cerebrali in seguito a stimolazione ipercapnica. I fisiologi e gli psicologi texani hanno somministrato ad alcuni volontari sani un moderato stimolo soffocatorio (una miscela d'aria arricchita in anidride carbonica) e hanno studiato l'attivazione sequenziale delle aree del cervello in concomitanza con la percezione soggettiva di fame d'aria.

Le aree attivate in risposta all'aumentata presenza di anidride carbonica sono una vera e propria «rete» che risalendo dal basso verso l'alto nell'encefalo comprende il ponte, la sostanza grigia periacquedottale, le zone limbiche e paralimbiche - le aree più legate alle esperienze emozionali - dell'amigdala e la zona paraippocampale. In tal modo, una funzione automatica di cui di solito non ci accorgiamo, come la respirazione, si tinge di intense coloriture emozionali qualora una funzione vitale sia minacciata e fa attivare risposte potenzialmente adattative: aumento della frequenza respiratoria e dell'ansietà.

Una parte dei ricercatori coinvolti nello studio del panico nell'uomo ritiene che, negli individui particolarmente suscettibili, questa catena di eventi fisiologici e percezioni possa trasformarsi in vero e proprio panico. Una volta attivate le vie di riconoscimento dello stimolo soffocatorio nel midollo allungato, la propagazione dell'impulso e la sua percezione sotto forma di sensazione di ansietà vedono l'implicazione e l'attivazione delle «classiche» parti emozionali del nostro cervello, tipicamente le aree limbiche.

Nel loro insieme questi risultati confermano che la sensibilità ad alcuni stimoli di soffocamento è un altro tratto per il quale gli esseri umani - «sani» o sofferenti di sintomi d'ansia - si differenziano tra loro in modo più quantitativo che qualitativo. A uno stimolo potenzialmente critico per la sopravvivenza dell'individuo, l'organismo reagisce attivando una risposta d'allarme che coinvolge alcune strutture dell'encefalo deputate al riconoscimento delle situazioni ambientali potenzialmente pericolose. Non sempre però tali risposte, per la cui intensità tendiamo a differire gli uni dagli altri, sono adeguate e adattative per l'individuo, e talvolta il disagio supera di gran lunga i possibili vantaggi: è qui che probabilmente si crea uno dei crinali che permettono di separare la normalità dalla patologia nella vita mentale.

Un disturbo «di famiglia»

Ciò che resta misterioso è il possibile legame tra aspetti di regolazione (o disregolazione) della risposta agli stimoli soffocatori e la tendenza del disturbo da attacchi di panico a ripresentarsi nelle famiglie: una tendenza chiara, tanto che, dato un soggetto affetto da panico, il rischio di sviluppare la stessa condizione tra i suoi parenti di primo grado è mediamente otto volte superiore a quello della popolazione generale, una tendenza che abbiamo osservato uniformemente in studi familiari condotti negli ultimi anni dal nostro gruppo, e che hanno fornito le stesse stime riscontrate da altri colleghi interessati all'epidemiologia genetica, in paesi europei e nordamericani.

Ciò non significa però che la suscettibilità a sviluppare panico si erediti in modo rigidamente e geneticamente determinato, come avviene per un carattere mendeliano semplice, al pari delle malattie ereditarie causate da un singolo locus maggiore. Per il panico, così come per tutte le altre condizioni che cadono nella sfera d'interesse della psicologia clinica e della psichiatria, esiste un rapporto complesso tra apporto genetico (in genere identificabile in sistemi poligenici od oligogenici) e manifestazione clinica. Gli studi sui gemelli - condotti principalmente dal gruppo di Svenn Torgersen in Norvegia e da quello di Kenneth Kendler in Virginia hanno dimostrato che la quota di suscettibilità al panico spiegata da agenti poligenici copre dal 30 al 62 per cento della varianza fenotipica totale. La quota restante è spiegata da elementi ambientali non condivisi dalle coppie gemellari, dall'insieme cioè di esperienze che sono responsabili delle differenze tra individui, come accade per i fratelli che, pur vivendo nella stessa famiglia e condividendo il 50 per cento del patrimonio genetico, differiscono tra loro per molti aspetti comportamentali. Ciò significa che la totalità delle somiglianze intrafamiliari per suscettibilità al panico è da ascrivere unicamente a elementi di natura genetica, ma anche che le persone di una stessa famiglia possono differire tra loro nei confronti degli attacchi di panico a seconda delle esperienze cui ciascun familiare è stato esposto.

Com'è possibile integrare tra loro queste osservazioni? L'esistenza di un'interazione tra geni ed eventi ambientali è un dato ormai acquisito. Questi ultimi influenzano il grado di espressione di molte porzioni del nostro genoma, letteralmente «accendendo» e «spegnendo» porzioni geniche che ci rendono diversi gli uni dagli altri. Ciò significa anche che una delle sfide future risiederà nel comprendere quali eventi ambientali possano agire sui polimorfismi genetici che conferiscono un aumentato rischio di manifestazione del disturbo. In tale contesto, una via interessante da seguire potrebbe essere quella di approfondire le modalità attraverso cui gli eventi ambientali attivano i sistemi genici coinvolti nelle risposte ansiose, facilitando quelle di esagerata sensibilità agli stimoli di soffocamento che possono manifestarsi sotto forma di panico.

Jay Belmore/Image Bank

Alcune delle modalità utilizzate per studiare in laboratorio il panico umano

SOSTANZA E SUA AZIONE NOTA O PRESUNTA	PRINCIPALI SINTOMI EVOCATI/ MODALITA' DI INSORGENZA	SOSTANZE CHE MODULANO LA RISPOSTA
YOHIMBINA (agonista dei recettori α-adrenergici)		
Aumento della noradrenalina e di alcuni suoi metaboliti	Attacchi di panico (sovente atipici, con euforia, rinorrea)	Imipramina (antidepressivo)
ISOPROTERENOLO (agonista dei recettori β-adrenergici)		
Azione periferica sui recettori adrenergici con aumento della adrenalina	Aumento dei sintomi d'ansia	Propanololo (beta-bloccante)
CAFFEINA (metilxantina)		
Antagonista dei recettori per l'adenosina, psicostimolante dose-dipendente	Attacchi di panico e aumento del grado d'ansia	Benzodiazepine
COLECISTOCHININA (CCK)		
Aumento della sensibilità centrale alla CCK, antagonista oppioide	Attacchi di panico con sintomatologia respiratoria (dispnea) di breve durata	Antidepressivi diversi
SODIO LATTATO		
Metabolizzazione del lattato a bicarbonato, successivamente metabolizzato a biossido di carbonio	Attacchi di panico con sintomatologia respiratoria	Clonidina
BIOSSIDO DI CARBONIO (CO_2)		
Aumento della concentrazione di CO_2 (mediante un singolo atto inspiratorio - test al 35% di CO_2 - oppure respirazione prolungata - test al 5-7% di CO_2) e relativa acidosi a livello del sistema nervoso centrale	Attacchi di panico a prevalente sintomatologia respiratoria e cardiaca	Antidepressivi diversi, benzodiazepine, antagonisti muscarinici

BIBLIOGRAFIA

BATTAGLIA M. e altri, *Modulation by Muscarinic Antagonists of the Response to Carbon Dioxide Challenge in Panic Disorder*, in «Archives of General Psychiatry», 58, pp. 114-119, 2001.

BRANNAN S. e altri, *Neuroimaging of Cerebral Activations and Deactivations Associated with Hypercapnia and Hunger for Air*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)», 98, pp. 2029-34, 2001.

PLOMIN R. e altri, *Behavioral Genetics*, Freeman, New York, IV ed., 2001.

MAFFEI C., BATTAGLIA M. e FOSSATI A., *Personalità, sviluppo e psicopatologia*, Laterza, Roma-Bari, 2001.

Guidare su STRADE INFORMATICHE

Internet è arrivata sulle strade. Dall'automobile si può ora accedere a una quantità di risorse, da bollettini sul traffico personalizzati fino a messaggi e-mail vocali e a videogiochi. E la sicurezza?

di Steven Ashley
redazione di «Scientific American»

Sul cruscotto si accende la luce rossa. Il vostro veicolo ha quasi inghiottito un altro serbatoio di benzina. Questa volta però è tardi, e davanti non c'è altro che un buio e solitario tratto di autostrada. Ogni qualche chilometro c'è un'uscita verso una piccola città, ma i segnali non indicano sempre quanto sia lontana o se vi sia una stazione di servizio. Avete appena iniziato a cercare una cartina quando vi ricordate che il veicolo è munito di un sistema telematico ad attivazione vocale: un'unità di comunicazione a due sensi connessa sia a Internet sia a un ricevitore GPS (Global Positioning System). Premendo un pulsante sul cruscotto, chiedete «benzina». Dopo una pausa, una voce meccanica legge un elenco di stazioni di servizio vicine a voi, completo di nome del produttore, distanza di ogni stazione e persino prezzo al litro della benzina senza piombo. Sebbene sia ancora un po' distante, scegliete la terza stazione, perché accetta la vostra carta di credito. Il sistema risponde dandovi indicazioni dettagliate per raggiungerla.

Per il momento, una situazione del genere è poco diffusa, ma presto o tardi questo tipo di scenario diventerà comune, via via che verranno introdotte tecnologie sempre più sofisticate di telematica automobilistica. Proprio come i microprocessori hanno invaso gli autoveicoli durante gli ultimi dieci anni, ben presto, come prevedono gli analisti dell'industria, si verificherà una transizione analoga verso la telematica. Un trasmettitore e ricevitore senza fili, un'antenna, un elementare sistema di riconoscimento e sintesi vocale e, generalmente, un'unità GPS sono tutto ciò che serve per supportare quello che l'industria chiama un «cliente leggero» dei servizi telematici: il più basilare pacchetto di capacità di comunicazione mobile. Sebbene questo pacchetto di servizi sia relativamente semplice e la sua introduzione appaia inevitabile, l'industria dovrà presto preoccuparsi dei complessi problemi di sicurezza e di privacy sollevati da questa tecnologia.

NHTSA (2)

LE PROVE DI GUIDA VIRTUALI con tecnologie telematiche a bordo di automobili sono una delle funzioni del National Advanced Driving Simulator (*qui sopra e nella pagina a fronte*), recentemente inaugurato presso l'Università dello Iowa dalla National Highway Traffic Safety Administration.

La telematica automobilistica è basata sulla premessa che gli automobilisti di oggi desiderino sempre e ovunque un accesso istantaneo a servizi di sicurezza, navigazione e informazione, nonché a programmi di intrattenimento. Già descritte con i toni entusiastici che gli analisti finanziari usarono cinque o sei anni fa parlando del commercio elettronico, le nascenti tecnologie telematiche dovrebbero cambiare fondamentalmente l'interazione con l'automobile in cui spesso trascorriamo tante ore al giorno. «I veicoli a motore meritano di essere connessi al mondo esterno» proclama Chet Huber, presidente della OnStar, il più grande fornitore di servizi telematici automobilistici degli Stati Uniti. «Oggi stiamo iniziando con servizi che offrono sicurezza e relax; più avanti, passeremo a servizi molto più interattivi.»

I servizi di sicurezza senza fili a bordo delle automobili - come l'assistenza automatica di emergenza a bordo strada, l'avvertimento automatico di collisione e l'apertura remota delle portiere - stanno già diventando familiari agli automobilisti americani. Queste possibilità sono offerte dal TeleAid della Mercedes-Benz, dall'Assist della BMW e dal NeverLost della Hertz, oltre che dalla OnStar. Gli abbonati ai migliori servizi telematici stanno nello stesso tempo iniziando ad avvalersi di possibilità più sofisticate, come messaggi e-mail vocali, musica digitale e bollettini personalizzati sul traffico e sul tempo atmosferico, nonché notizie, risultati sportivi e resoconti dai

mercati finanziari. E chi guida un'automobile di lusso si è ormai abituato al cruscotto pieno di schermi a cristalli liquidi, che mostrano cartine e altri utili ausili di navigazione.

«Nei cinque anni da quando siamo operativi, OnStar ha avuto 10 milioni di interazioni con i clienti» dice Huber. «Un'automobile su quattro della General Motors ha a bordo un sistema OnStar, e questo significa 5000 nuovi abbonati ogni giorno. E ora anche molti altri produttori di autovetture, fra cui Acura, Audi, Honda, Lexus, Saab e Subaru, offriranno servizi OnStar.» Gratuito per i primi 12 mesi, il servizio di base costa 199 dollari all'anno, che secondo Huber è più o meno quanto costa annualmente tenere in macchina un telefono cellulare. Egli prevede che «per rimanere competitivo, ogni veicolo negli Stati Uniti dovrà essere in grado di fornire almeno i servizi telematici di base».

In prospettiva, i progettisti di automobili stanno cercando di evitare di inserire schermi integrati nei cruscotti, che tendono a diventare obsoleti relativamente in fretta, sostituendoli con nuove tecnologie che integrino l'assistente digitale personale (PDA) dell'automobilista nel sistema telematico di bordo attraverso un'apposita unità di accoppiamento. Il PDA servirebbe come interfaccia visiva e trasmetterebbe automaticamente al veicolo le informazioni personali dell'automobilista: per esempio, le sue preferenze in termini di benzina o di catene di ristoranti, la posizione del sedile, le strade seguite normalmente tutti i giorni e l'agenda lavorativa.

Rosee previsioni

Una delle più grandi aziende del settore, la Delphi Automotive Systems di Troy, nel Michigan, che fornisce componenti per automobili, prevede che entro il 2005 metà di tutte le nuove automobili potrebbero avere dispositivi telematici di serie. In effetti, secondo alcuni osservatori, vi sarà una crescita esponenziale del mercato telematico. Per esempio, la UBS Warburg, una società di servizi finanziari, si aspetta che il mercato cresca di un fattore 10 entro un decennio, raggiungendo i 47,2 miliardi di dollari. La Frost & Sullivan, una società di consulenze di mercato, è molto più prudente nei suoi pronostici, prevedendo che il mercato nordamericano raggiunga i 7 miliardi di dollari nel 2007. Philip Rowland, dirigente della società di consulenze manageriali McKinsey & Co., è altrettanto cauto, e osserva che per il 2010 il mercato telematico mondiale potrebbe variare fra 13 e 100 miliardi di dollari, a seconda della domanda e delle normative approvate negli Stati Uniti, in Giappone e in Europa.

Mentre la telematica nella sua forma più semplice non è nuova - le radio AM/FM e i telefoni cellulari esistono già da un po' - in futuro si punta a un'integrazione molto maggiore tra l'automobile e la società. Una volta che il veicolo è «cablato» per trasmettere e ricevere informazioni, la sua capacità di supportare altri prodotti e servizi con quei segnali diventa enorme. Anche se i consumatori acquistano o noleggiano un'automobile nuova al massimo a intervalli di qualche anno, i fornitori di servizi telematici si aspettano che i loro gadget forniscano lucrosi guadagni ogni giorno.

Di fronte a una competizione sempre più agguerrita e a piccoli margini di guadagno sui prodotti, molti produttori di automobili - tra cui General Motors, Toyota, DaimlerChrysler, Ford e PSA Peugeot Citroën - stanno destinando somme enormi (anche se non dichiarate ufficialmente) per costruire un'infrastruttura telematica, e anche fornitori di equipaggiamenti telematici come Delphi, Siemens, Bosch, Visteon e Johnson Controls stanno lavorando sodo. Nello stesso tempo, su questo mercato si stanno buttando altri competitori, come Microsoft, Motorola, Clarion, Westwood One e ATX Technologies. Scott McNealy, presidente della Sun Microsystems, ha detto chiaramente che la sua società vede l'automobile semplicemente come un portale Internet, una sorta di «browser Java con le ruote».

Allo stesso tempo, rimangono irrisolti molti problemi di sicurezza, regolamentazione, privacy e responsabilità connessi alla telematica. Secondo alcuni, questo non è necessariamente un problema. «Dato che è ancora nelle sue prime fasi di sviluppo - afferma Rowland della McKinsey - l'industria telematica ha l'opportunità di contrattare con i governi per fare in modo che i grandi benefici che la telematica potrebbe recare non siano rallentati dalla necessità di mantenere la sicurezza, la privacy e così via.» C'è anche il tempo per realizzare una standardizzazione tecnica dei sistemi telematici. Progetti di cooperazione come la Automotive Multimedia Interface Collaboration, un'organizzazione dell'industria per la definizione degli standard, potrebbero aiutare lo sviluppo di specifiche ad architettura aperta per questi sistemi informatici.

Secondo Rowland e colleghi, stanno emergendo tre distinti mercati telematici. Il primo, il mercato del «sedile dell'automobilista», ruoterà attorno alle dotazioni di sicurezza e convenienza che rendono più facile guidare fornendo, quando necessario, un'assistenza personalizzata. Un esempio di questi servizi sono i bollettini del traffico personalizzati: quando un automobilista vede un ingorgo davanti a sé, il sistema telematico può istantaneamente indicare un tragitto alternativo. A causa di considerazioni di sicurezza, non è ancora chiaro fino a che punto i cosiddetti servizi di produttività, come le banche online, i resoconti azionari e l'e-mail vocale, dovrebbero essere disponibili a chi guida.

Il secondo, il mercato del «sedile posteriore», consisterà principalmente di offerte di intrattenimento, fra cui giochi interattivi, musica digitale, film e video. Simili servizi permetteranno di scaricare dalla rete prodotti di intrattenimento che possano tenere i bambini occupati durante i lunghi viaggi, per esempio.

Il terzo mercato, quello delle applicazioni che riguardano il motore e la meccanica, userà i dati raccolti dal computer di bordo per fornire strumenti come la capacità di diagnosi remota, aggiornamenti del software e un sistema «intelligente» per ordinare parti di ricambio. Questa tecnologia permetterà ai costruttori o ai venditori di automobili di avvertire un automobilista in caso di malfunzionamento, e magari anche di registrare il motore quando l'automobile è ferma, durante la notte.

Automobilista sotto pressione

Nonostante le potenzialità di queste tecnologie, devono ancora essere chiariti i problemi che esse pongono. L'attuale dibattito a proposito dell'utilizzo dei telefoni cellulari in automobile indica che le interfacce telematiche fra uomo e macchina e il modo in cui gli automobilisti le sfrutteranno sono destinati a rappresentare un punto critico. «Per molte ragioni, in genere sociali, i consumatori portano tutta una serie di dispositivi in automobile, da usare durante la guida: telefoni cellulari, computer portatili, assistenti digitali personali» dice Bob Lange, direttore esecutivo per l'integrazione di dispositivi di sicurezza presso il Safety Center della General Motors di Warren, nel Michigan. «Il problema è che si tende a trascorrere sempre più tempo negli spostamenti. E poiché tutti hanno poco tempo e sono sotto pressione per essere più produttivi, è inevitabile che in automobile si usi un numero sempre crescente di dispositivi portatili. I produttori di automobili devono essere consapevoli di queste tendenze e lavorare per far sì che i consumatori possano usare questi dispositivi in sicurezza.»

Paul Green, esperto di sicurezza delle automobili, è d'accordo: «C'è molto entusiasmo per ciò che questi sistemi possono fare per migliorare l'esperienza della guida. Tuttavia non si è detto molto dei possibili rischi associati al "sovraccarico" dell'automobilista». Green è ricercatore presso il Transportation Research Institute dell'Università del Michigan ad Ann Arbor, e conduce inchieste su argomenti riguardanti i trasporti. «Se non si prenderanno misure adeguate, vi sarà sicuramente un numero significativo di morti e feriti causati dai sistemi informatici» avverte. «In questo momento, gli studi riguardanti la sicurezza e i fattori umani sono molto indietro rispetto a quelli sull'elettronica.» Ciò potrebbe provocare una reazione avversa dei consumatori o spingere i Governi a limitare l'uso dei prodotti telematici nei veicoli in movimento.

Il punto chiave ancora non risolto è come evitare di distrarre inutilmente il conducente dal suo compito fondamentale - guidare - mentre sta rispondendo alla posta elettronica o cercando un ristorante. Come dice Lange, della General Motors: «Sappiamo che nella maggior parte delle circostanze l'impegno mentale della guida è assai modesto. È per questo motivo che tutti noi ci troviamo a fare altre cose, che non c'entrano con la guida, mentre guidiamo».

Troppe distrazioni, troppi rischi

Ma quando troppo diventa troppo? «Sfortunatamente, i dati sulla distrazione dei guidatori sono tanto scarsi che non possiamo determinare la reale entità del problema» dice Michael Goodman, direttore della ricerca sulle simulazioni della guida presso la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) di Washington. «Riteniamo che non meno del 25 per cento degli incidenti mortali sia causato dalla distrazione. Altri ricercatori sostengono che il valore sia più probabilmente attorno al 30-50 per cen-

IN PILLOLE

- L'automobile sta cambiando faccia. Sempre più spesso i modelli di serie delle vetture di lusso sono equipaggiati con computer di bordo via via più potenti. Già descritte con i toni entusiastici che gli analisti finanziari usavano cinque o sei anni fa parlando del commercio elettronico, le nascenti tecnologie telematiche dovrebbero cambiare fondamentalmente l'interazione con l'automobile in cui spesso trascorriamo tante ore al giorno.
- Secondo gli osservatori vi sarà una crescita esponenziale del mercato telematico. UBS Warburg si aspetta che il mercato crescerà di un fattore 10 entro un decennio, raggiungendo i 47,2 miliardi di dollari. Frost & Sullivan è molto più prudente, ma prevede che il mercato nordamericano raggiungerà i 7 miliardi di dollari nel 2007.
- L'arrivo della telematica nelle automobili crea però forti discussioni sulle distrazioni alle quali saranno soggetti i guidatori. Già il dibattito su chi usa il telefono cellulare in auto, anche con viva voce o auricolare, è rovente, ma l'accesso a un assistente digitale personale o a un computer di bordo moltiplica i dubbi sulla sicurezza.
- I problemi che investono l'uso di sistemi informatici a bordo delle auto coinvolgono, ovviamente, anche l'aspetto della privacy. Lo scenario da Grande fratello orwelliano dipinto da alcuni potrebbe rivelarsi un boomerang per le nuove tecnologie.

Servizi telematici

Servizio	Tipo di pagamento	Tecnologia chiave
SICUREZZA		
Assistenza sulla strada	Abbonamento	GPS
Ricerca di veicoli rubati	Abbonamento	GPS
Apertura remota delle portiere	Abbonamento	GPS
SOS telefonico in seguito all'apertura dell'airbag	Abbonamento	GPS
INTRATTENIMENTO		
Videogiochi	Per utilizzo	Video digitale
Film DVD		Video digitale
Radio via satellite	Abbonamento	Radio via satellite
Scaricamento file musicali e video	Per utilizzo	Comunicazioni radio a larga banda
Radio via Internet	Abbonamento	Comunicazioni radio a larga banda
NAVIGAZIONE		
Indicazioni durante la guida	Abbonamento	GPS, comunicazioni radio, vocale*
Informazioni turistiche	Supporto pubblicitario	Comunicazioni radio
Notizie, borsa, meteo	Abbon. e supporto pubblicitario	Comunicazioni radio, vocale*
Biglietti, prenotazioni	Supporto pubblicitario	Comunicazioni radio, vocale*
Calendario, agenda, indirizzario	Abbon. e supporto pubblicitario	Comunicazioni radio
Traffico in tempo reale, deviazioni	Abbonamento, per utilizzo	GPS, comunicazioni radio
Pubblicità locali	Supporto pubblicitario	GPS, comunicazioni radio

* Riconoscimento e sintesi vocali
Fonte: Forrester Research, Inc.

Rimangono **irrisolti** molti **problemi** di **sicurezza,** regole, responsabilità e privacy connessi alla **telematica...**

UNITÀ DI CONNESSIONE per assistenti digitali personali e telefoni cellulari.

Delphi Automotive Systems

LA TELEMATICA DI TUTTI I GIORNI

I satelliti GPS possono individuare la posizione dell'automobile, mentre le torri di telecomunicazione le connettono con i fornitori dii servizi. Questa rete offre molte nuove possibilità.

SATELLITE GPS
AUTOMOBILE
TORRE DI TELECOMUNICAZIONE
FORNITORE DI SERVIZI TELEMATICI
APERTURA REMOTA DELLE PORTIERE
SAFETY & SECURITY
ASSISTENZA SULLA STRADA
SEGNALE DI EMERGENZA
DEVIAZIONI IN TEMPO REALE
TSP
INFO
NAVIGATION
INFORMAZIONI SUL PERCORSO
RIUNIONE ALLE 3.30
E-MAIL
AGENDA E CALENDARIO
CONTROLLO REMOTO DELLA CASA INTELLIGENTE
DOWNLOAD DI MUSICA E FILM
ENTERTAINMENT
PRENOTAZIONE DI BIGLIETTI E RISTORANTI
INFORMAZIONI PUBBLICITARIE LOCALI
SCONTO DEL 50%!

xplane.com

SCHERMI per i passeggeri dei sedili posteriori.

Ford Motor Company

Una certezza è che ogni **attività svolta in auto** può provocare un incidente stradale.

to. In ogni caso, le denunce di incidenti mortali causati dalla distrazione sono sicuramente inferiori alla cifra reale, perché, se l'automobilista sopravvive, in genere è reticente a riferire la vera causa dell'incidente per le possibili conseguenze penali. Ciò che sappiamo è che pressoché qualunque attività si possa svolgere sull'automobile - mangiare, sistemare lo specchietto, cambiare stazione alla radio - è associata a incidenti. Quando l'azione coincide con un evento casuale, come un cane che attraversa la strada o l'approssimarsi di una curva pericolosa, allora può verificarsi un incidente.»

La tecnologia del telefoni cellulari sta servendo da modello per l'adozione della telematica in automobile. Come i telefoni cellulari, anche la telematica tiene l'automobilista in contatto con il resto del mondo. Allo stesso modo, il pericolo che essa induca un sovraccarico del conducente è sempre presente. Nonostante le continue discussioni sull'utilizzo dei telefoni cellulari tenuti in mano durante la guida e i divieti imposti in diversi paesi, risultati significativi sulle implicazioni dell'elettronica a bordo nei confronti della sicurezza sono ancora relativamente scarsi. I ricercatori che si occupano del fattore umano sostengono, tuttavia, che anche i telefoni cellulari a viva voce causano una distrazione sufficiente a produrre errori nella guida.

Secondo le stime dell'industria, ci sono attualmente 105 milioni di telefoni cellulari nei soli Stati Uniti, e la cifra dovrebbe quasi raddoppiare, raggiungendo i 200 milioni, per il 2005. Il 70-80 per cento dei proprietari di un telefono cellulare lo usa in automobile. Allo stesso tempo, i telefonini stanno diventando più economici e più facili da usare, e questo fa sì che il loro impiego aumenti enormemente. In presenza di più utenti che fanno più telefonate, l'esposizione a una possibile distrazione cresce e, con essa, il rischio di incidenti. Come dice Goodman, «diversi tipi di distrazione sono associati a diversi livelli di rischio. Molti mangiano e bevono in automobile, ma c'è un limite a quanto una persona può mangiare e bere. Lo stesso non si può dire per l'impiego dei telefoni cellulari».

Stranamente, conversare usando un telefono cellulare a viva voce sembra più rischioso che parlare con il passeggero. «Telefonare in questo modo è impegnativo quanto parlare al passeggero» dice Goodman. «C'è un forte desiderio di rispondere e completare la conversazione, ma l'interlocutore non è al corrente della situazione della guida; viceversa il passeggero, essendo preoccupato per la propria sicurezza quanto il conducente, tende a rimanere in silenzio nelle situazioni potenzialmente pericolose.»

Le preoccupazioni sull'uso dei telefoni cellulari durante la guida sono confermate da un nuovo studio condotto presso l'Università dello Utah e pubblicato dal National Safety Council (NSC). Esso indica che conversare con un telefono cellulare mentre si guida può portare a una riduzione significativa delle prestazioni, indipendentemente dal fatto che il telefono sia un viva voce oppure no. Secondo lo studio, l'uso di telefoni cellulari sulla strada crea un livello molto più alto di distrazione del conducente che ascoltare la radio o gli audiolibri.

I risultati dello studio indicano perciò che limitando l'uso di telefoni cellulari tenuti in mano ma permettendo quelli a viva voce (o con l'auricolare) probabilmente non si riduce in misura significativa la distrazione del guidatore associata alle conversazioni telefoniche. «Questo studio aggiunge nuovi dati al dibattito in corso sulla distrazione degli automobilisti e sulle sue cause» nota Alan C. McMillan, presidente dell'NSC. «Occorrono però ulteriori ricerche per capire pienamente le implicazioni dell'uso crescente di telefoni cellulari e di altri dispositivi elettronici - come i ricevitori GPS, i fax e i computer - nei veicoli in movimento.»

A causa del rischio di disastrose distrazioni, diversi paesi ora limitano o proibiscono l'utilizzo di telefoni cellulari o di tecnologie di comunicazione senza fili sui veicoli a motore; fra essi vi sono Australia, Brasile, Cile, Filippine, Germania, Giappone, Inghilterra, Israele, Italia, Portogallo, Singapore, Spagna, Sudafrica e Svizzera. Le linee guida diramate nel 1999 dalla Commissione Europea riguardanti la progettazione delle interfacce uomo-macchina nelle automobili stabiliscono che: «L'informazione e le comunicazioni intese per l'impiego da parte del guidatore non devono distrarlo, disturbarlo o sovraccaricarlo». Al momento, negli Stati Uniti non ci sono linee guida condivise dall'industria o norme riguardanti i dispositivi telematici a bordo delle automobili.

Per evitare reazioni legislative e non esporre i prodotti al pericolo di denunce, i fornitori di servizi telematici si stanno concentrando su tecnologie cruciali, ma potenzialmente problematiche, oltre che ancora relativamente immature, come il riconoscimento e l'attivazione vocale dei

Chi lavora nella telematica

SERVIZI TELEMATICI
Assist, BMW *Monaco, Germania*
ATX Technologies *Dallas, Texas*
OnStar *Troy, Michigan*
TeleAid, Mercedes-Benz *Stoccarda, Germania*
Wingcast, Ford-Qualcomm *San Diego, California*

DISPOSITIVI TELEMATICI
Robert Bosch *Stoccarda, Germania*
Delphi Automotive Systems *Troy, Michigan*
IBM *White Plains, New York*
Johnson Controls *Plymouth, Michigan*
Microsoft *Redmond, Washington*
Motorola *Schaumberg, Illinois*
Philips Electronics *Eindhoven, Paesi Bassi*
Siemens Automotive *Regensburg, Germania*
Sun Microsystems *Palo Alto, California*
Visteon *Dearborn, Michigan*

SISTEMI DI NAVIGAZIONE
ComROAD *Unterschleissheim, Germania*
Webraska *Poissy, Francia*

INFORMAZIONI SUL TRAFFICO
Mobility Technologies *Wayne, Pennsylvania*
Westwood One *New York City*

VIDEOGIOCHI
nei sedili posteriori tengono occupati i bambini.

Il controllo **a 360 gradi** dei sistemi telematici evoca **il Grande fratello** di George Orwell.

sistemi e gli schermi sopra la testa. Questi dispositivi permetteranno di usare le tecnologie senza fili senza togliere gli occhi dalla strada o le mani dal volante. Ma come si fa a essere certi che l'attenzione dell'automobilista resti sulla guida? Quanta interazione, o distrazione, si può sostenere prima di smettere di concentrarsi sulla strada?

Secondo gli specialisti della sicurezza, la distrazione mentale è solo uno di quattro tipi generali di distrazione del guidatore: gli altri sono la distrazione visiva, uditiva e biomeccanica. Ma la distrazione mentale, che si può avere anche mentre si riflette sugli affari o su cose personali, si cerca di ricordare una serie di istruzioni o si ascolta una voce sintetizzata, è molto più elusiva e difficile da misurare degli altri tipi. Si sa però che riduce l'attenzione alla situazione della guida.

Il problema consiste nello stabilire come e quando dare informazioni all'automobilista. Il NHTSA ha iniziato una serie di studi sull'argomento. Le ricerche faranno grande uso del nuovo National Advanced Driving Simulator, un sistema ad alta fedeltà del costo di 50 milioni di dollari, che sta per entrare in funzione ad Iowa City. Il simulatore permetterà agli scienziati di riprodurre la guida in autostrada nell'ambiente sicuro e controllato del laboratorio. I ricercatori del NHTSA stanno anche conducendo studi con automobili su strade di prova.

Anche i costruttori di automobili stanno conducendo le proprie ricerche. La Ford, per esempio, ha costruito un simulatore di guida da 10 milioni di dollari chiamato VIRTTEX (da VIRtual Test Track EXperiment), per studiare il carico di fatica del guidatore e i problemi di distrazione collegati agli strumenti elettronici del veicolo. «L'industria ha bisogno di linee guida valide e scientificamente provate» dice Jeff Greenberg, capo di VIRTTEX presso il laboratorio di ricerca della Ford di Dearborn, nel Michigan. «È importante che tutti questi sistemi siano sicuri e che la comunità scientifica sia d'accordo su ciò che è accettabile.»

Gestire la fatica

Allo stesso tempo la General Motors sta costruendo un laboratorio di misurazione del carico di fatica del guidatore per valutare specifici dispositivi telematici su un percorso di prova. «Finché non avremo buoni dati che ci dicano fino a che punto arrivare - dice Bob Lange della General Motors - continueremo a limitare il coinvolgimento del guidatore in compiti di alto livello. Per esempio, la General Motors ha deciso di disabilitare le richieste ai sistemi di navigazione satellitare mentre il veicolo si sta muovendo. In generale, vogliamo minimizzare il numero di passi necessari per svolgere un certo compito usando il riconoscimento vocale assieme a una o due pressioni di un pulsante.»

I ricercatori del NHTSA prevedono che il problema possa essere parzialmente ridimensionato dallo sviluppo di una serie di gestori sempre più sofisticati del carico. In via di progettazione presso molte industrie automobilistiche, questi gestori regoleranno il flusso delle informazioni presentate al guidatore, controllando momento per momento l'impegno mentale della guida. In condizioni di intenso traffico, per esempio, una chiamata in arrivo potrebbe essere diretta verso una segreteria telefonica.

«Se capissimo in maniera abbastanza sofisticata come gli automobilisti interagiscono con l'ambiente e il veicolo - dice Lane - potremmo ideare un algoritmo che ci permetta di abilitare e disabilitare i sistemi telematici.»

«Presto - prevede - vedremo l'inizio di un gestore delle conversazioni. Dapprima funzionerà rilevando e analizzando i dati istantanei del veicolo: la posizione dell'acceleratore, dei freni, l'angolo di sterzata. Poi, via via che aggiungeremo sensori in grado di rilevare le condizioni ambientali, il gestore potrà diventare sempre più efficace.»

Questi sensori, molti dei quali esistono già ma non sono ancora installati sulle automobili, potrebbero osservare le condizioni di visibilità (luce, oscurità o nebbia), quelle della strada (bagnata, asciutta o ghiacciata) e quelle del flusso e della densità del traffico, mentre vengono registrate da un sistema per il controllo della guida o per evitare le collisioni basato su radar o raggi infrarossi. Si potrebbe anche realizzare un sistema di controllo della posizione del capo, simile a quelli usati dai piloti di elicotteri militari, per determinare se il guidatore sta prestando attenzione alla strada. Se venisse rilevato un pericolo mentre gli occhi dell'automobilista non sono sulla strada, il dispositivo emetterebbe un segnale di avvertmento.

Mai da soli

Oltre alle preoccupazioni sulla sicurezza, la natura onnipresente dei sistemi telematici non manca di ricordare il Grande fratello di George Orwell. Sicuramente la tecnologia telematica è stata tutt'altro che un vantaggio per James Turner, che affittò un furgone dalla Acme Rent-A-Car di New Haven, nel Connecticut, all'inizio dell'ottobre scorso. Dopo che Turner fu di ritorno da un viaggio in Virginia, la Acme lo informò che il ricevitore GPS installato a bordo del veicolo aveva segnalato che era stato superato il limite di velocità in tre occasioni diverse. Come previsto nel contratto, la società lo multò di 150 dollari per ciascuna infrazione. Inizialmente, Turner fu stupefatto nel ricevere una multa dall'agenzia di noleggio anziché dalla Polizia stradale; poi decise di andare in tribunale. Nel frattempo, il Connecticut Department of Consumer Protection ha richiesto che la compagnia smetta di emettere queste multe per eccesso di velocità e risarcisca i clienti che hanno già pagato.

Fino a quando le preoccupazioni per la sicurezza e la privacy non saranno affrontate in modo organico, sarà sempre responsabilità degli automobilisti di rimanere concentrati sulla guida, nonostante le inevitabili distrazioni causate dai sistemi telematici. Una cosa è certa: fra breve tempo potrebbe diventare molto più difficile scordarsi del resto del mondo mentre si guida.

Visteon